

LERNPROGRAMME IM BIOLOGIEUNTERRICHT

Vergleichende Untersuchungen
über die Effektivität
von programmiertem und lehrergeleitetem
Unterricht am Beispiel „Photosynthese“

Gabriele Ploss

LERNPROGRAMME IM BIOLOGIEUNTERRICHT

Vergleichende Untersuchungen über die Effektivität
von programmiertem und lehrergeleitetem Unterricht
am Beispiel "Photosynthese"

Dissertation zur Erlangung des Doktorgrades
der Fakultät für Biologie
der Ludwig-Maximilians-Universität München

vorgelegt von Gabriele Ploss
aus Pöcking
im September 1986

Erstgutachter : Prof. Dr. Wilhelm Killermann
Zweitgutachter : Prof. Dr. Dr. Gerfried Ziegelmayer

Tag der mündlichen Prüfung : 10.04.1987

Vorwort

Diese Arbeit versucht auf der Basis empirischer Untersuchungen den absoluten Lernerfolg und den Lernzuwachs bei lehrergeleitetem und programmiertem Biologieunterricht zu vergleichen.

Der Schwerpunkt liegt dabei einerseits im fachdidaktischen Bereich, d.h. es wird untersucht, inwiefern programmierter Unterricht (PU) speziell im Fach Biologie zu Lernerfolg führt, und andererseits darauf, ob diese beiden Unterrichtsmethoden bei Schülern verschiedener Altersstufen zu unterschiedlichen Ergebnissen führen.

Obwohl vor allem in den 60er Jahren vielfach allgemein nachgewiesen wurde, daß PU sich als Lehrmethode eignet und Schüler gerne damit arbeiten, spielt er heute im Schulunterricht, speziell im Gymnasium, eine sehr untergeordnete Rolle. Bei den naturwissenschaftlichen Fächern wird er in Mathematik und Physik zeitweise, in Chemie und vor allem in Biologie kaum eingesetzt.

Da diese Art der Lehrstoffvermittlung eine Reihe von Vorteilen bietet, wie z.B. lehrerunabhängige häusliche Übungsmöglichkeit nach Krankheit, vor Prüfungen, bei Lehrerausfall und durch die großzügige Ausstattung der Schulen mit Computergeräten neue Möglichkeiten und neuen Auftrieb erhält, will diese Arbeit einen Beitrag zur Klärung der Frage leisten, ob PU auch im Fach Biologie im Schulunterricht mit gutem Lernerfolg eingesetzt werden kann.

Ich möchte allen danken, die bei der Planung, Durchführung und Auswertung dieser Untersuchung geholfen haben: Herrn Prof.Dr. Wilhelm Killermann für die Betreuung, den Mitarbeitern seines Instituts für zahlreiche Anregungen, den Lehrern verschiedener Gymnasien für die Durchführung des Unterrichts und der Tests. Besonderer Dank gilt Herrn Rainer Feld, der mir bei der statistischen Auswertung geholfen hat.

Inhaltsverzeichnis

1. EINLEITUNG

1.1 Einordnung der Arbeit in den Rahmen der Biologie- didaktik	1
1.2 Einordnung der Arbeit in die Reihe der bisher ge- machten Untersuchungen	4
1.3 Allgemeines zum Vergleich Programmierter Unterricht- Lehrergeleiteter Unterricht (PU-LU) und Problem- stellung der Arbeit	9

2. GRUNDLEGENDE ERÖRTERUNGEN ZUM PROGRAMMIERTEN UNTERRICHT

2.1 Lerntheoretische Grundlagen des PU	16
2.2 Die geschichtliche Entwicklung des PU	31
2.3 Einsetzbarkeit des PU für bestimmte Lerninhalte und Eingliederung in den Unterricht	35
2.4 Auswirkungen des PU auf den Lehrer und Rückwirkungen auf seine Lehrmethoden	38
2.5 Vergleich von PU mit Buchprogrammen und Computer- programmen	42
2.6 PU im Urteil von Lehrern und Schülern	46
2.7 Grenzen des PU	49
2.8 Zusammenfassende Übersicht über Vor- und Nachteile des PU	54
2.9 Besondere Probleme, die beim PU im Fach Biologie auftreten	57

3. VERGLEICHENDE FELDUNTERSUCHUNG ZWISCHEN LEHRERGE- LEITETEM UND PROGRAMMIERTEM UNTERRICHT

3.1 Grundkonzept der Versuchsanordnung und Hypothesen- bildung	63
3.2 Inhalt und Verlauf des Unterrichts	70
3.3 Inhalt und Verlauf der Tests	84
3.4 Vergleichbarkeit der Versuchsgruppen	90
3.5 Ergebnisse	94
3.6 Diskussion	125
4. ZUSAMMENFASSUNG	131
ANHANG	133
Literaturverzeichnis	220

1. EINLEITUNG

1.1 Einordnung der Arbeit in den Rahmen der Biologie- didaktik

Die Fachdidaktik Biologie beschäftigt sich vor allem mit

- 1.) Erziehungs- und Unterrichtszielen
- 2.) Unterrichtsinhalten
- 3.) Lernpsychologie
- 4.) Lehr- und Lernvorgängen

wobei die besonderen Probleme und Erfordernisse für das Fach Biologie jeweils hervorgehoben werden.

Die vorliegende Arbeit ist unter Punkt 4.) Lehr- und Lernvorgänge einzuordnen, deren Forschungsgegenstände

- a) fachspezifische Arbeitsmethoden
(Mikroskopieren, Experimentieren,...)
- b) Unterrichtsmittel und Medien
(lebende Objekte, Dias, Filme,...)
- c) Unterrichtsformen und -verfahren
(Klassenunterricht, Einzelunterricht,...)

darstellen.

Lernprogramme erscheinen nun in der didaktischen Literatur häufig unter dem Überbegriff "Unterrichtsmittel und Medien". Damit soll betont werden, daß sie im Unterricht vom Lehrer als eine Art zusätzliches Hilfsmittel eingesetzt werden können. So schreibt Fölsch in seinem "Erfahrungsbericht über PU" (Fölsch 1975, S.4): "Lernprogramme sind selbstlehrende Medien". Von Paul Gabele erschien 1968 ein Buch mit dem Titel "Arbeitsmittel und Lernprogramme", und L.Staack führt in seiner Untersuchung über die Effektivität von Lehr- und Lernmitteln ("Medien im Biologieunterricht") Lernprogramme in einer Reihe mit Dias, Filmen, realem Gegenstand und Modell/Arbeitstransparent an: "Zusammenfassend lassen sich Unterrichtsmittel... dann als unterrichtliche Medien charakterisieren, wenn die Schüler mit ihrer Hilfe ... selbständig Information und/oder Arbeitstechniken erwerben, umsetzen, fertigen oder erweitern können." (Staack 1980, S.27)

In kultusministeriellen Verlautbarungen führt man Lernprogramme in allen Bundesländern als "zusätzliche Arbeitsmittel".

In dieser Arbeit sollen Unterrichtsprogramme nicht als Medien gelten. Sicher spielt bei der Präsentation (Keil 1970 und 1977), der Art des Einsatzes und der Betreuung von PU die Person des Lehrers eine gewisse Rolle. Der Lernvorgang selbst aber erfolgt nur über das Programm. Diese Arbeit soll deshalb ein Beitrag zur Erforschung von "Unterrichtsformen und -verfahren" sein (Killermann 1980, S.213), d.h. ein Methodenvergleich (s.a. Killermann 1978, S.71). Zu dieser Unterscheidung schreibt Felix v. Cube: "Medien sind didaktische Stellglieder... PU ist kein Medium". (v. Cube 1976, S.25)

Sieht man den PU nun als eigenständige Lehrmethode, so ist er dort bei den differenzierend, individualisierenden Methoden einzuordnen.

Von der Sonderform der Unterrichtsmethode "Unterrichtsgang" abgesehen, ergeben sich als Hauptmethoden im Rahmen der Schule

1. der überwiegend lehrergeleitete Frontalunterricht mit der ganzen Klasse
2. der stärker individualisierende, die Schüleraktivität mehr betonende Gruppen-, Partner- und Einzelunterricht.

Diese zweite Art der Unterrichtsform kann auch in programmierter Weise durchgeführt werden, wobei dann der Lehrer für eine gewisse Zeit in den Hintergrund tritt.

Ebenso sieht Waltraud Schöler im PU eine völlig autonome Lehrmethode. "Aus dieser Sicht ergibt sich eigentlich schon, daß Programme den konventionellen Arbeitsmitteln nicht gleichgesetzt werden können". (Schöler 1967, S.98)

Der Lehrer spielt in den beiden Lehrmethoden (konventioneller Unterricht und PU) eine ganz verschiedene Rolle. Das Bereitstellen von Arbeitsmaterialien für die Selbstbeschäftigung des Schülers im konventionellen Unterricht stimmt in den wichtigsten Komponenten mit dem Lernen nach Programmen nicht überein. Arbeitsmittel sind vom Lehrer her gedacht zur Erhöhung der Lernwirksamkeit des vorher durch ihn selbst erteilten Unterrichts. Programme dagegen "zielen für die Zeit des Programmeinsatzes auf Lehrerersatz". (a.a.O. S.112)

In neueren Arbeiten werden Medium, Methode und Lernprozeß unter dem Begriff "Treatment" zusammengefaßt (Heidt 1976, S.41).

Für jeden verantwortungsbewußten Pädagogen stellt sich nun die Frage, ob dieser fast völlige Rückzug des Lehrers aus dem Lernprozeß eine Lehrmethode darstellt, die beim Schüler zu befriedigendem Lernerfolg führen kann. Sollte eine Lehrmethode schon einfach deshalb eingesetzt werden, weil sie sich als Möglichkeit anbietet oder nur um dem Schüler Abwechslung zu bringen?

Viele Lehrer sind sehr skeptisch gegenüber PU. Sie meinen, daß ein nicht von ihnen in allen Einzelschritten kontrollierbarer Lernprozeß beim Schüler einen geringeren Lernerfolg bringen könnte. Manche meinen auch, daß diese Lehrmethode zwar für Erwachsene und in der beruflichen Fortbildung, aber nicht in der Schule und vor allem nicht bei jüngeren Schülern eingesetzt werden könne; vor allem jüngere Schüler lernten "lehrergebunden" besser.

Erschwerend für den Einsatz von PU wirkt sich auch die Schulorganisation mit den genau festgelegten Stundenplänen und den aus der unterschiedlichen Bearbeitungsdauer der Programme sich ergebenden Aufsichtsproblem aus. Im Fach Biologie erscheint vielen eine zu starke "Versachlichung"

nicht adäquat und ein Einsatz von Computern wenig wünschenswert.

Im Bemühen, auf all diese Befürchtungen, Meinungen und Fragen eine Antwort zu finden, erscheint eine empirische Untersuchung noch am ehesten geeignet, trotz all der Mängel, die solchen Untersuchungen eigen sind. Voraussetzungen für eine solche Felduntersuchung sind ein genaues Studium und die Auswertung der zu diesem Thema veröffentlichten Literatur, sowie grundsätzliche Überlegungen zu dieser Lehrmethode. Allerdings können Fragen im Hinblick darauf, ob PU eine auch im Fach Biologie und in verschiedenen Altersstufen geeignete Lehrmethode darstellt, immer nur beschränkt auf eine bestimmte Adressatengruppe, ein bestimmtes Stoffgebiet und eine bestimmte Programmart beantwortet werden.

1.2 Einordnung der Arbeit in die Reihe der bisher durchgeführten Untersuchungen

In den letzten 20 Jahren wurde eine große Anzahl vergleichender Untersuchungen zwischen programmiertem und lehrergeleitetem (konventionellem) Unterricht durchgeführt, die meisten davon vor 1970. Das Hauptaugenmerk lag dabei nicht auf dem Fachspezifischen und nicht auf der Altersabhängigkeit des Lernerfolgs, sondern auf einem allgemeinen Vergleich der beiden Lehrmethoden. 1971 erschien eine Übersicht und kritische Wertung der wichtigsten von ihnen in einem Band "Effektiveres Lernen durch Programmierten Unterricht?" (Köbberling 1971).

Danach ist der Lernerfolg mit PU teilweise besser, selten signifikant besser, teilweise gleich erfolgreich wie lehrergeleiteter Unterricht. Dabei führt PU häufig zu gleichem Lernerfolg in geringerer Zeit (Köbberling 1971, S.113). In bezug auf die Zeitersparnis macht Petersen konkrete Angaben. Er bezieht sich dabei auf den Einsatz des Lernpro-

gramms "Vogelfeder, Vogelflügel, Vogelflug" (Petersen 1964) bei 12-14jährigen Schülern des Gymnasiums: "Für die Bearbeitung des Programms werden durchschnittlich dreimal 45 Minuten benötigt. Untersuchungen haben gezeigt, daß der konventionelle Unterricht viermal 45 Minuten benötigt, um den gleichen Stoff mit dem gleichen Lernerfolg zu unterrichten" (Petersen 1966, S.91).

Die einzelnen Untersuchungen sind allerdings nur schwer vergleichbar und weisen im Ergebnis eine gewisse Uneinheitlichkeit auf, da die Versuchsbedingungen jeweils sehr verschieden waren.

- Die verschiedenen Programme zeigten einen verschiedenen Grundaufbau
- Alter und Anzahl der Versuchspersonen variierten stark, teilweise stützen sich die Ergebnisse auf zu geringe Probandenzahlen
- Die Tests sind verschieden aufgebaut; teilweise werden die Abschlußtests der Programme als Vergleichsgrundlage herangezogen, was die mit dem Programm Unterrichteten unzulässig bevorzugt
- Der sog. "konventionelle Unterricht" wird nicht genau genug beschrieben und läßt sich daher nur schwer vergleichen und nachvollziehen
- Die Versuchsdauer variiert.

Daher meint Köbberling: "Eine sinnvolle Aufgabe streng kontrollierter Versuche könnte daher sein, die Methodik des Durchschnittsunterrichts, sowie das Alter der Probanden und die Organisation des Unterrichts systematisch zu variieren. Von hier aus könnten sich Hinweise auf wesentliche Variablen für die Effektivität des Programmierten Unterrichts und des Durchschnittsunterrichts ergeben" (Köbberling 1971, S.114).

Eine Arbeit, in der dem mit PU verglichenen lehrergeleiteten Unterricht besonderes Augenmerk geschenkt wurde, ist "Lehrstrategie und Lehreffektivität, ein kritischer Vergleich von PU und herkömmlichem Unterricht" von H. Walter (1973). Walter wendet das Verfahren der Kreuzvalidierung an, der lehrergeleitete Unterricht wird genau protokolliert und auf Tonband aufgenommen. Dieser Methodenvergleich im Mathematikunterricht kommt zu einer eindeutigen Überlegenheit des PU, die vor allem auf die relativ optimierte Unterrichtsstrategie des PU zurückgeführt wird und auf die Individualisierung.

Derselben Meinung ist auch Frank (1975).

Im Zusammenhang mit Erprobungen von Lernprogrammen führte die Zentralstelle für Programmierten Unterricht in Bayern, geleitet von Dr. Keil am Gymnasium bei St. Anna in Augsburg, vergleichende Untersuchungen durch.

Da ihr Schwerpunkt aber mehr auf der Optimierung der Programme und weniger auf einem Vergleich mit dem lehrergeleiteten Unterricht lag und die verwendeten Tests aus den Programmen stammten, sind ihre Ergebnisse in diesem Zusammenhang von geringerem Aussagewert.

Trotzdem meint Keil: "...daß der Lehrer beim Einsatz eines vor der Veröffentlichung gut erprobten Lehrprogramms davon ausgehen kann, daß seine Schüler die Lernziele in befriedigendem Umfang erreichen und auch die Behaltensleistung besser ist als bei anderem Unterricht" (Keil 1975, S.9).

Ein großangelegter Versuch zur Effektivität und Integrierbarkeit von PU in der Schule wurde in Nordrhein-Westfalen in den Jahren 1967 bis 1971 auf Anregung des dortigen Kultusministeriums und des "Ausschusses für Programmiertes Lernen" durchgeführt.

17 078 Schüler an 400 Schulen und 805 Lehrer nahmen daran teil (Schneider, Grundmann-Hencke 1973, S.11). Dabei wurde PU erprobt und die Meinung der beteiligten Lehrer und Schüler mittels eines 13 Fragen enthaltenden Testbogens er-

fragt. (vgl. dazu auch 2.6). Der Schwerpunkt der Untersuchung lag also auf einer Überprüfung der Einstellung zum PU. Welche Unterrichtsprogramme verwendet wurden, war den Lehrern überlassen.

Speziell für das Fach Biologie lief 1970 bis 1975 an der Universität Freiburg ein Projekt "Computerunterstützter Unterricht", angeregt durch die Ministerien für Bildung und Wissenschaft bzw. Forschung und Technologie und die Volkswagenstiftung.

Dabei sollten Biologielehrprogramme entwickelt, erprobt und ihre Verbreitung verbessert werden (Hanke 1971).

In diesem Zusammenhang verglich man die Abschlusstests von Praktika eines Pflanzenbestimmungskurses bei Studenten, die mit einem Computerprogramm Bestimmungsübungen durchgeführt haben, mit solchen, die nur an Übungen in konventioneller Form teilgenommen hatten. Die automatisiert unterrichteten schnitten besser ab, was wahrscheinlich auf den zusätzlichen Übungseffekt zurückgeführt werden kann (Gottwald, Ripota 1975, S.29).

E.Kunz verglich PU mit "Arbeitsunterricht" zum Thema "Die Hauskatze" (Kunz 1970) in 5. Klassen.

87 Schüler nahmen dabei am PU teil, aber nur 13 wurden in die Auswertung einbezogen und mit 10 Schülern verglichen, die "konventionell" unterrichtet wurden. Deshalb ist das Ergebnis eher ein Erfahrungsbericht. "PU kann in der Sexta eingesetzt werden...Der PU kann dem Lehrer wertvolle Aufschlüsse über die Klasse und den Schüler vermitteln...PU kann dem Arbeitsunterricht nicht vorgezogen werden"(Kunz 1970, S.90/91).

In einem Aufsatz. "PU und Lernprogramme im Biologieunterricht" (Muslow 1973) wird vom Einsatz von Programmen im Menschenkundeunterricht in den 10. Klassen berichtet ohne Angabe von Schülerzahlen oder Testergebnissen. PU wird für das Fach Biologie als geeignet vor allem für das Einüben,

Wiederholen und Festigen von Grundwissen betrachtet und im kurzzeitigen Einsatz im Wechsel mit lehrergeleitetem Unterricht. Es handelt sich hier um einen allgemeinen Erfahrungsbericht.

PU als "Medium" betrachtend, vergleicht L. Staeck ihn mit Diareihe, realem Gegenstand, Modell/Arbeitstransparent, Filmsequenz und verbalem Unterricht (s.a. 1.1) und testet Wissenszuwachs und Behaltensleistung (Staeck 1980). Ein Buchprogramm über den Regenwurm, zusammen mit einem Wandbild präsentiert, ergab signifikant höhere Lern- und Behaltensleistungen als lehrergeleiteter Unterricht mit den erwähnten Medien.

Untersuchungen mit Studenten in England (London Borough of Havering; Computer Aided Projekt, 1973) und USA (Pennsylvania State University, Kantasewi et al. 1964), bei denen computerunterstützter Unterricht (CUU) über biologische Themen mit lehrergeleitetem verglichen wurde, fanden CUU ebenso erfolgreich oder besser.

Eine ganze Reihe anderer Untersuchungen in England, USA und Frankreich haben PU über biologische Themen zum Inhalt, arbeiten aber nicht mit lehrergeleiteten Vergleichsgruppen (Tocci 1981; Davies 1978; Standing, Tidball 1977; Brunderson et al. 1981; Murphey, Appel 1977; Broderick 1974; Zimmer 1976; Weisgerber 1971; Diamond 1968; Anxolabéhère et al. 1980).

Die bisher vorliegenden vergleichenden Untersuchungen zwischen PU und LU hatten also entweder

- keinen fachspezifisch biologischen Lerninhalt
- keinen systematisch angelegten Versuchsplan (keine Vergleichsgruppen, nur Erfahrungsberichte)
- zu geringe Probandenzahlen
- Tests über die Einstellung zu PU und keine Lern-erfolgstests.

Für die Biologielehrer am Gymnasium stellt sich die Frage, ob der PU auch im Biologieunterricht eingesetzt werden kann und soll. Im Mathematik- und Physikunterricht hat er einen festen Platz, in der beruflichen Aus- und Fortbildung wird er sehr häufig eingesetzt, mit dem vermehrten Einsatz von Computern in allen Bereichen eröffnen sich neue Möglichkeiten.

Daß Schüler auch bei längerem Einsatz gerne mit PU arbeiten, ist mehrfach gezeigt worden (siehe auch Kap. 2.6) aber lernen sie auch mit Erfolg? Für Gymnasiallehrer, die an einem Vormittag teilweise mehrfach zwischen Schülern verschiedener Altersstufen wechseln, stellt sich zusätzlich die Frage, ob diese Lehrmethode in Unter- und Oberstufe gleichermaßen eingesetzt werden kann.

Eine Untersuchung, bei der unter biologisch-fachdidaktischem Gesichtspunkt ein Vergleich mit demselben Lerninhalt bei verschiedenen Altersstufen durchgeführt wurde, ist bisher nicht veröffentlicht worden.

1.3 Allgemeines zum Vergleich Programmierter Unterricht (PU) - Lehrer geleiteter Unterricht (LU)

Nach wie vor steht der überwiegend lehrergeleitete, weitgehend verbale Frontalunterricht im Mittelpunkt des Unterrichtsgeschehens am Gymnasium. Dies gilt auch für den Biologieunterricht. Ohne Zweifel ist dies eine wichtige Lehrmethode, andererseits konnte vielfach nachgewiesen werden, daß andere Unterrichtsmethoden ebenfalls gute Lernerfolge erzielen können und sogar - zumindest zeitweise - von Schülern bevorzugt werden (siehe auch Kap. 2.6 S.46).

Um die wesentlichen Unterschiede der in dieser Untersuchung verwendeten Lehrmethoden klarzumachen, sollen sie hier einander gegenübergestellt werden. Diese Gegenüberstellung bereitet die Hypothesenbildung vor.

Die Unterschiede sollen hier besonders deutlich herausgestellt werden um zu zeigen, worauf evtl. auftretende Unterschiede im Lernerfolg (experimenteller Teil, Kap. 3) beruhen.

Zunächst eine Gegenüberstellung nach Fölsch 1975, S.4. Er geht dabei von seinen persönlichen Erfahrungen des Einsatzes von PU im Mathematikunterricht aus. Eine Übertragung auf andere Fächer und andere Formen des konventionellen Unterrichts ist daher nur teilweise möglich.

"Programmarbeit

Einzelarbeit des Schülers dominiert; nur geringe Kommunikation mit dem Lehrer und Mitschülern (Fragen, Hilfen).

Konventioneller Unterricht

Unterrichtsgespräch ermöglicht starke Kommunikation in der Gruppe.

Individualisierung der Lernzeit, des Lernrhythmus und (bei verzweigten Programmen) des Lernwegs ermöglicht Anpassung an die individuelle Lage des Schülers

Frontalunterricht bedeutet weitgehend "Gleichschritt", der die leistungsfähigsten Schüler unter-, die schwächsten immer noch überfordert. Ausgleich ist nur teilweise durch arbeitsteiligen Gruppenunterricht möglich.

Der Schüler ist dauernd aktiv und kann seinen Lernfortschritt ständig kontrollieren (Anm. s.u.)

Viele Schüler sind über weite Strecken des Unterrichts passiv, der Lernfortschritt ist unzureichend kontrollierbar (Anm. s.u.)

Der Schüler folgt- auch in verzweigten Programmen- vorprogrammierten Lernwegen.

Es bietet sich Gelegenheit für originelle Lösungswege, divergierendes Denken, Querverbindungen zu anderen Bereichen, Relativieren, Problematisieren, Reflektieren.

Die Atomisierung des Lernprozesses erleichtert den Lernfortschritt, behindert aber oft die Zusammenschau komplexer Strukturen.

Schwächere Schüler sind oft überfordert durch redundanzarme Darstellung, die aber komplexe Sachverhalte übersichtlicher machen kann."

Diese Gegenüberstellung erscheint beim Einschätzen der Schüleraktivität im PU als sehr positiv. Voraussetzung dafür ist aber eine hohe Eigenmotivation und Konzentrationsfähigkeit der Schüler.

Passivität und mangelnde Kontrolle des Lernfortschritts im lehrergeleiteten Unterricht kann andererseits nicht als allgemein typisch für LU angesehen werden.

Differenzierter sieht H.Walter (1971) die Hauptunterschiede der beiden Unterrichtsmethoden und faßt sie unter den folgenden fünf Gesichtspunkten zusammen:

Verstärkung, "aktive Antwortformulierung", "kleine Lernschritte", soziale Entlastung, individuelles Lerntempo.

Die sofortige Verstärkung jedes Schülers nach jedem Lernschritt ist dem Lehrer kaum möglich. Sie kann sich immer nur auf den Schüler beschränken, der zu einem bestimmten Zeitpunkt Kontakt mit dem Lehrer aufnimmt. Selbst wenn man annimmt, daß jeder Schüler der Klasse die Fragen und Antworten des Schülers bzw. Lehrers vollständig und richtig versteht und gedanklich nachvollzieht, so fehlt doch die aktive Reaktion und die unmittelbare Betroffenheit durch die Verstärkung. Auch erfolgt die Verstärkung nicht immer sofort, weil der Lehrer manchmal erst mehrere Schüler nacheinander aufruft.

Man kann aber wohl davon ausgehen, daß auch diejenigen Schüler verstärkt werden, die die Lösung nur "gedacht" haben (was von manchen Lerntheoretikern bezweifelt wird; siehe dazu auch Kap. 2.1). Voraussetzung dafür ist aber eine "innere Schüleraktivität" zum richtigen Zeitpunkt. Einzelne Schüler können evtl. im LU öfter verstärkt werden als im PU. Auch die Art der Verstärkung kann im LU stärker variieren und ist daher weit abwechslungsreicher als im PU, bei dem die Verstärkung praktisch ausschließlich in der Einsicht des Schülers in die richtige Lösung und verbal erfolgt.

Dieser Vorteil wird von Correll besonders betont: "Ferner hat sich allgemein gezeigt, daß die variierenden Verstärkungsverfahren wiederum stabilere Verhaltensformen erzeugen als die nicht variierenden...Verfahren. Außerdem haben ja die variierenden Verfahren noch den...Vorteil, daß sie den Lorbeereffekt unterdrücken."

(Correll 1967, S.90). Im LU treten dabei auch negative Verstärkungen auf, die sich aus der Fragestellung ergeben (zu schwierige oder unpräzise Frage führt zu falscher Antwort).

Dies wirkt sich aber wohl weniger auf den Lernerfolg direkt als auf die "atmosphärische Stimmung in der Klasse" aus.

aktive Antwortformulierung

Die Möglichkeit zu verbaler, stoffbezogener, individueller Schülertätigkeit ist im LU etwas eingeschränkt. Der Schüler ist, auch wenn der Lehrer ihn zur Mitarbeit auffordert und nicht doziert, in seiner Möglichkeit zur verbalen Aktivität auf den Lehrer angewiesen. Das verleitet wohl doch einzelne Schüler zur Passivität.

Bisherige Erfahrungsberichte über den Einsatz von PU zeigten tatsächlich, daß die Schüleraktivität intensiver und gleichmäßiger stoffbezogen ist, daß die Schüler also konzentrierter arbeiten als im LU. So konnte Lindval nachweisen, daß die Prozentwerte der Unaufmerksamkeit beim nicht-programmierten Lernen signifikant höher liegen als beim programmierten (Lindval 1964, zitiert nach Walter 1971, S.139).

Viele Pädagogen meinen daher, daß PU die Schüler zu sehr anstrengt, ja überfordere.

Dazu kommt bei kurzzeitigem Einsatz - wie in dieser Untersuchung - der Neuheitseffekt.

kleine Lernschritte

Im PU wird das angestrebte Endverhalten sorgfältig analysiert und systematisch in aufeinander aufbauende Verhaltenseinheiten gegliedert.

Herkömmlicher Unterricht wird nicht ganz so sorgfältig geplant. Selbst bei strenger Lehrerkontrolle aller unterrichtlichen Aktivitäten wechseln Phasen kleinster Lernschritte mit Phasen großer, schwieriger. So können manche Schüler nicht mehr folgen und werden auch nicht verstärkt. Nachteil des PU ist eine "mechanisierte, lineare" Denkweise. Ein lineares Programm (wie es in dieser Untersuchung verwendet wurde) kann sich den speziellen Bedürfnissen ein-

zelner Schüler nicht anpassen. LU ist hier viel flexibler. Der Schüler kann nachfragen bzw. der Lehrer kann seine Erläuterungen aufgrund falscher Schülerantworten anpassen. Dies verwirrt aber nun wieder manche Schüler, für die diese Erläuterungen nicht passen. Der variabelere Stil des LU setzt zudem eine klare, verständliche Ausdrucksweise voraus.

soziale Entlastung

Es ist kein LU denkbar, der frei wäre von sozialen Spannungen. Andererseits kann der soziale Kontakt aber auch förderlich sein ("dem Lehrer zuliebe", Ansporn durch Mitschüler). Die "emotionale Entkrampfung" der Lernsituation durch PU ist dennoch wohl eher vorteilhaft, vor allem weil in der Regel vom Programm Verstärkung ausgeht.

H.Walter meint allerdings, daß dieser Effekt erst bei länger dauernder Verwendung von PU wirksam wird, da bei kurzzeitigem Einsatz PU von Schülern, die der Schule gegenüber eher negativ eingestellt sind, "zunächst im Kontext der als grundsätzlich bedrohlich oder feindlich erlebten Umwelt gesehen wird". (Walter 1971. S.152/153).

individuelles Lerntempo

Jeder Schüler kann die ihm gemäße Lerngeschwindigkeit selbst bestimmen und von Fall zu Fall variieren, ohne daß dadurch andere Schüler gestört werden. Im LU hängt die Geschwindigkeit des Vorgehens in erster Linie vom Lehrer ab, der sich an einem "durchschnittlichen Schüler" orientiert. Schlechte Schüler sind dadurch über- und gute unterfordert. Hier bietet der PU eine Möglichkeit, diesen Zustand zu beheben. Da die aus dem "mittleren Lerntempo" resultierenden Bedingungen des herkömmlichen Unterrichts "sich für die intelligenteren Schüler weniger folgeschwer auswirken als für die unintelligenten, kann erwartet werden, daß letztere in ihrem Lernprozeß durch PU besonders begünstigt sind." (Walter 1971, S.153)

Hierin sieht Walter die entscheidenden Vorteile des PU. Inwieweit dies tatsächlich der Fall ist, d.h. ob "schwächere" Schüler tatsächlich durch PU zu größerem Lernerfolg kommen können als durch LU, soll in dieser Untersuchung (Kap. 3) an einem konkreten Beispiel ebenfalls überprüft werden.

Andere Autoren heben andere Aspekte hervor. Von Cube meint, daß die beiden Unterrichtsformen nur bedingt vergleichbar seien (v.Cube 1976, S.76). So werde beispielsweise oft nicht berücksichtigt, daß der PU Einzelunterricht sei und daher nur sehr bedingt mit Klassenunterricht verglichen werden könne. "Im Hinblick auf dieselbe Zielsetzung wäre ein Vergleich zwischen PU und Einzelunterricht durch einen Lehrer interessant".(a.a.O.)

Dies würde allerdings einen erheblichen experimentellen Aufwand erfordern.

Unter Experten stand nie zur Debatte, ob konventionell oder programmiert unterrichtet werden solle. Es ging und geht vielmehr darum, ob es im unterrichtlichen Geschehen Orte gibt, an denen der Lernprozess am besten von einem Lernprogramm gesteuert werden kann, also um das Problem der Integration von Programmen in den Unterricht. Die vorliegende Arbeit untersucht nun, inwieweit speziell biologische Fachinhalte (Photosynthese) durch die programmierte Lehrmethode an Schüler verschiedener Altersgruppen (13 bzw. 18jährige) vermittelt werden können und vergleicht den Lernerfolg mit dem beim konventionell lehrergeleiteten Unterricht. Dafür wurde ein Buchprogramm zum Thema "Photosynthese" (B.Heigl 1981) in 7. und 12. Klassen des Gymnasiums eingesetzt. Als Vergleichsgruppen dienten in beiden Altersstufen jeweils Schüler, denen der gleiche Lerninhalt wie er im Buchprogramm enthalten ist, in gut gegliederter, fragend-entwickelnder, lehrergeleiteter Form übermittelt wurde. (siehe dazu auch 3.2)

Besonderer Wert wurde auf eine möglichst "schulnahe" Versuchssituation im Sinne Lays gelegt (Lay 1920): das didaktische Experiment sollte soweit als möglich den Charakter des Schullebens, der Unterrichtspraxis wahren. (zum Thema "Feldexperiment" s.a. Eckel 1969, S.37; Staeck 1980, S.115; Loewe 1983, S.11/12).

Überprüft wurden Lernzuwachs, absoluter Lernerfolg und Behaltensleitung anhand eines Tests, der sich auf kognitive Lernziele bezog und den in der Schulpraxis üblichen Leistungserhebungen entsprach.

Damit soll diese Untersuchung ein Beitrag sein zur Klärung der Frage, ob PU als Alternative zum LU häufiger eingesetzt werden kann.

Durch die großzügige Ausstattung vieler Schulen mit Computergeräten (Schmittlein in schulreport 1, 85 S.7) wurde eine zusätzliche Basis für diese personenungebundene Art zu lernen geschaffen.

2. GRUNDLEGENDE ERÖRTERUNGEN ZUM PU

2.1 Lerntheoretische Grundlagen

Vor allem in der Euphorie der Anfangszeit des PU wurde er als ideale Verwirklichung von lerntheoretischen Grundlagen erachtet. So meinte Correll, daß PU in konsequenter Anwendung geeignet sei, "die unerfreuliche Kluft zwischen lernpsychologischer Forschung und pädagogischer Praxis zu überwinden" (Correll 1969, S.11). Diese Einschätzung erscheint aus heutiger Sicht doch als zu weitgehend und pauschal.

1979 schreibt Plöger: "Der PU ist als eine strikte Anlehnung einer Unterrichtsmethode an eine psychologische Theorie zu verstehen. Im schulischen Bereich ist solch eine rigorose Orientierung an einer Theorie seit Herbart nicht mehr zu verzeichnen gewesen" (Plöger 1979, S.564). Er sieht diese enge Bindung an eine Theorie aber eher kritisch und meint, "daß gegenüber der anfangs geäußerten Euphorie Sachlichkeit und kritische Haltung (vielleicht sogar Zurückhaltung) aufgekommen sind". (a.a.O. S.569)

Brotbeck sieht die Grundlagen des PU in rel. weit zurückliegenden Strömungen. So z.B. im Empirismus (nach Francis Bacon 1561-1626), im Mathematismus (nach dem französischen Aufklärer Descartes), im Sensualismus (nach John Locke 1632-1704), in der Education négative (nach Voltaire und Rousseau), im Pragmatismus (nach William James) und im Instrumentalismus (nach John Dewey), sowie im Behaviorismus (nach Skinner).

Die Gemeinsamkeiten dieser Geisteshaltungen liegen für Brotbeck darin, daß sie alle wenig Wert auf die geistig-seelischen Abläufe legen und mehr auf die äußeren, direkt beobachtbaren Verhaltensformen (Brotbeck 1968, S.11-30). Die Behavioristen mit ihrem Hauptvertreter Skinner hatten wohl sicher auf den PU den größten Einfluß.

Danach sind die wesentlichsten lerntheoretischen Grundlagen für programmiertes Lernen:

- Die Verstärkung (reinforcement)

Dabei geht man davon aus, daß die Lernmotivation (Antrieb) des Schülers am besten durch Lernerfolgs-erlebnisse befriedigt wird.

- Die operative Konditionierung

Dabei werden in geeigneter Weise immer nur ganz bestimmte Lernvorgänge eingeleitet und dann sofort verstärkt, so daß beim Schüler ein gewünschtes Verhaltensrepertoire gezielt aufgebaut werden kann.

- Versuch und Irrtum (trial and error)

Dabei berücksichtigt man das Vorwissen und bestimmte Interessen der Schüler dadurch, daß man Möglichkeiten für verschiedene Reaktionen des Schülers schafft, dann aber nur die gewünschten, richtigen verstärkt.

Verstärkung

steigert die Wahrscheinlichkeit des Auftretens einer Verhaltensform. Correll unterscheidet dabei:

positive Verstärkung	(Lob, Anerkennung)
negative Verstärkung	(Tadel, Bestrafung; verstärkt dadurch, daß sie nicht mehr geboten wird.)
primäre Verstärkung	(verstärkt von selbst; Stillen von Hunger, Durst o.ä.)
sekundäre Verstärkung	(muß zunächst mit primärer Verstärkung geboten werden; Orden, Beförderung o.ä.)
kontinuierliche Verstärkung	(nach jedem Auftreten des Verhaltens; kann periodisch oder aperiodisch geboten werden)

(nach Correll 1969, S.3-6)

In der Ethologie sieht man eine Verstärkung dadurch gegeben, daß der innere Antrieb gesenkt wird.

"Lernen beruht entscheidend auf einer Verringerung der Bedürfnisspannung (Triebreduktion)." (Hull 1943)

Dieses Phänomen der Verstärkung durch Triebreduktion kann durch folgendes Funktionsschaltbild modellhaft dargestellt werden

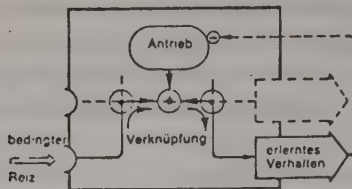


Abb.1
Idealisiertes, vereinfachtes Funktionsschaltbild für
"Lernen am Erfolg" durch Antriebsreduktion (verändert nach
Hassenstein 1973, S.220)

Die Verknüpfung eines neuen Reizes (nicht angeborenes Erkennen) mit einem neuen (nicht angeborenen) Verhalten bewirkt eine negative Rückkopplung auf den Antrieb, also eine Motivationssenkung.

Auf einen neuen Reiz (Information - bedingter Reiz) folgt eine neues Verhalten (Antwort - erlerntes Verhalten), das infolge von Triebreduktion und dadurch bedingte Verstärkung (Bestätigung der Antwort) zum Lernen führt. Wichtig für den Lernenden ist dabei, die Lernmotivation (Antrieb) trotzdem ständig aufrechtzuerhalten, d. h. aus einer Grundmotivation heraus den Lernantrieb für den jeweils nächsten Lernschritt zu erneuern. Behavioristen meinen, daß durch die positive Erfahrung nicht nur der Lernvorgang selbst, sondern auch die Neumotivation bewirkt wird.

Dies stellt im wesentlichen die Grundlage der behavioristischen Lerntheorie dar. Lernvorgänge werden danach als objektiv meßbare Umwelttereignisse (Reize) und in gleicher Weise erfassbare Verhaltensweisen erklärt. Erlebnisse, die nicht direkt beobachtbar sind, werden als nicht erklärungs-würdig angesehen. Danach kann eine vom Schüler nur "gedachte" Antwort nicht verstärkt werden. Es ist unbedingt erforderlich, daß er sie ausspricht oder aufschreibt. Verhaltensänderungen (Lernvorgänge) werden als Ergebnisse von Umwelteinflüssen betrachtet. Innere (angeborene, endogene) Ursachen werden nicht akzeptiert.

Die behavioristische Lerntheorie ist überwiegend an Tierversuchen überprüft worden ("Skinnerbox", Skinner 1965). Skinner brachte z.B. Tauben in relativ kurzer Zeit die verschiedensten Verhaltensweisen bei (Picken auf eine Scheibe, Rechtsdrehen, Linksdrehen usw.), indem er die geringsten Bewegungen in Richtung der gewünschten Verhaltensweise mit einem Futterkorn belohnte.

Auf diese Weise gelingt es Skinner in der Regel, innerhalb kurzer Zeit seine Tauben zu einem beliebigen Verhalten zu "erziehen". Solche Versuche wurden auch mit anderen Tieren und mit Menschen (zunächst mit Universitätsstudenten) durchgeführt (nach Correll 1971). Bei derartigen Versuchen ergab sich, daß eine Belohnung, die später als 30 Sekunden nach dem erstrebten Verhalten erfolgt, wirkungslos bleibt. Das optimale Zeitintervall beträgt etwa 0,5 bis 3 Sekunden. Skinner übertrug seine Konditionierungsmethode auch allgemein auf das menschliche Lernen. So schreibt er in seinem Aufsatz "The science of learning and the art of teaching": "Bei all diesen Arbeiten war die Gattung des Organismus überraschend unwesentlich...Vergleichbare Ergebnisse erhielten wir mit Tauben, Ratten, Hunden, Affen, Kindern... Trotz großer phylogenetischer Unterschiede zeigt der Lernprozeß dieser Lebewesen erstaunlich ähnliche Eigenschaften." (Skinner 1966, S.71)

Diese Ansicht wurde verständlicherweise zum Hauptangriffspunkt für die Gegner der Theorie. Es besteht wohl nicht der geringste Zweifel, daß eine derartige Übertragung nicht möglich ist und der Komplexität des menschlichen Lernvorgangs nicht gerecht wird. (siehe dazu auch Hillringhaus 1978 und Kap. 2.7). Manche Autoren üben auch Kritik an der Überbetonung der Verstärkung (Kranich 1968, S.12) oder sie zweifeln zumindest an der stark motivierenden Wirkung (Witte 1965, S.191; Lumsdaine 1969, S.84)

Walter faßt seine Kritik folgendermaßen zusammen: "Angesichts der Tatsache, daß die Komplexität des vom Schüler bei der Durcharbeitung des Programms verlangten Verhaltens ungleich viel größer ist als jene motorischen Reaktionen von Tieren, an denen die Effektivität der verschiedenen Verstärkerprogramme überprüft worden ist, ergeben sich grundsätzlich Schwierigkeiten der Übertragung gerade dieser Befunde auf die Programmkonstruktion." (Walter 1971, S.102)

Zur Rolle der Verstärkung siehe auch Kap. 1.3

Operatives Konditionieren

nennt man den Aufbau eines Verhaltensrepertoires durch konsequentes Verstärken entsprechender Verhaltensformen. Im PU heißt das, daß das Programm den Reiz (stimulus) gibt und eine ganz bestimmte Reaktion (response) des Lernenden verstärkt. Dabei kann man mehr Wert auf die Stimuli legen (Lumsdaine 1969, S.72-90) oder auf die sofortige Verstärkung der Antwort wie Skinner.

Auch wenn im lehrergeleiteten Unterricht Lernen ebenfalls in einem Reiz-Reaktions-Zusammenhang erfolgt, wird im PU noch genauer und konsequenter darauf geachtet, daß nur bestimmte "Reize" gegeben und nur bestimmte "Reaktionen" verstärkt werden.

Correll meint, daß zusätzlich "...das Interesse des Schülers dadurch auf die Sache selbst und weniger auf

den Lehrer oder die Mitschüler gelenkt (wird)...Es handelt sich also mehr um eine primäre und sachlich ausgerichtete Motivation, die durch das programmierte Lernen entsteht, als um eine sekundäre." (Correll 1971, S.64)

Nach Ansicht des amerikanischen Psychologen D.Porter wären für einen "erfolgreichen Unterricht in der Muttersprache im Verlauf von 20 Minuten durch den Lehrer 150 Bekräftigungen notwendig. Sind in der Klasse 30 Schüler, dann müßten in 20 Minuten durch den Lehrer 4 500 Bekräftigungen gegeben werden, in einer Minute also 255. Das ist natürlich unmöglich." (nach Landa 1971, S.15)

Wie in Kap. 1.3 schon erwähnt, ist es wohl sicher auch nicht nötig; dennoch liegt hier ein entscheidender Unterschied des PU zum LU.

So sieht Walter die Vorteile des PU weniger in der Häufigkeit der Verstärkung, sondern eher in der systematischen, kontinuierlichen und andauernden Verstärkung. (Walter 1971) Am konsequentesten wird operatives Konditionieren in den linearen Programmen (Abb. 2) im Sinne Skinners verwirklicht: ganz kleine Lernschritte (exakter Stimulus), aktive Antwort (keine Auswahlantwort), sofortige Verstärkung, da infolge winziger Lernschritte möglichst nie Fehler gemacht werden. (siehe dazu auch Esser 1969, S. 120/121).

Eine Lerneinheit besteht danach aus



wobei 2. und 3. optisch voneinander getrennt sein müssen ("Mogelsicherheit"). Dies kann dadurch geschehen, daß in Buchprogrammen die Antwort auf der nächsten Seite steht, durch verschiebbare Masken zunächst verdeckt, verschiedenfarbig gedruckt und mit Brillen zunächst weggefiltert wird; mechanisch betriebene Handgeräte oder elektrische Geräte verhindern noch besser ein frühzeitiges Nachschlagen der Antwort (siehe auch v.Cube 1976, S. 50)

Durch dieses Verfahren wird "das Eingangsverhalten linear (graduell) zu einem Ausgangsverhalten geformt (shaping)" (Plöger 1979, S. 564).

Der wichtigste Nachteil dieser Art zu lernen ist die eventuell auftretende Langeweile. "Ob sich das Verfahren (Anm. ca 80% der Fragen müssen richtig beantwortet werden) günstig oder ungünstig auswirkt, hängt selbstverständlich vom Adressaten ab, von seiner Intelligenz, seinem Interesse, seinem Lerntyp sowie vom Lernziel, das mit dem Programm erreicht werden soll." (v.Cube 1976, S. 43)

Die Theorie des "trial and error"

stellt Crowder in den Vordergrund seiner Programmkonzeption (Crowder 1959).

Der Lernende kann in dieser Art von Programmen auch Fehler bei der Antwort machen, er lernt auch dadurch, daß er die richtige Antwort liest (also durch Versuch und Irrtum). Programme im Sinne Crowders unterscheiden sich von denen Skinners dadurch, daß

- die Information komplizierter sein kann,
- die Antwort auch als Auswahlantwort formuliert sein kann
- je nach Antwort verschiedene Wege durch das Programm eingeschlagen werden können (z.B. Wiederholung bestimmter Schritte, Überspringen, Nebenprogramme).

Dies führt zu verzweigten Programmen (Abb. 2).

Welches der beiden Verfahren - das von Skinner oder das von Crowder - das bessere sei, war Gegenstand heftiger Diskussionen und ist oft erörtert worden (Schramm 1963; Hilgard, Bower 1971).

1. INFORMATION 2. KONTROLLFRAGE 3. ANTWORT

LERNEINHEIT (LE)

Beiner meint: "Skinner's erstes Ziel ist nicht die Individualisierung, sondern eine Intensivierung des Lernprozesses, d.h. eine Verhaltensformung...Crowder versteht Lernen nicht als einen "Konditionierungsprozeß", sondern mehr als einen "Kommunikationsprozeß", der durch ein "Gespräch" zwischen Schüler und Programm zu individuellen Lernergebnissen führt" (Beiner 1972, S.20)

Während Skinner in seinem "Einweg-Programmen" eine stetige Verhaltensformung anstrebt, führt Crowder sozusagen von "Aha-Erlebnis" zu "Aha-Erlebnis" (Flehsig 1963, S.71). Sehr ausführlich behandelt W.Schöler dieses Thema in dem Kapitel "Lerntheoretische Ansatzpunkte für das Lernen nach Programmen" (Schöler 1967, S.49-59), während Stroebe es sehr kurz auf die Formel bringt: Skinner - extrinsic programming, response centered; Crowder - intrinsic programming, stimulus centered (Stroebe 1971, S.112).

Eher kritisch steht v.Cube der Verwirklichung lerntheoretischer Grundlagen gegenüber: "Ich halte eine Rechtfertigung des PU auf der Basis von Lerntheorien nur für sehr beschränkt stichhaltig" (v.Cube 1976, S.44/45).

Er vertritt die Auffassung, daß die verschiedenen Lerntheorien immer nur bestimmte Teilbereiche des Lernens abdecken könnten, es aber sehr unterschiedliche Formen des Lernens gebe.

"...für den Begriff des PU ist aber nicht das Verfahren allein charakteristisch, sondern dessen Automatisierung, dessen Loslösung vom menschlichen Ausbilder: Der PU ist ein automatisches, rückgekoppeltes Ausbildungssystem." (v.Cube 1976, S.46)

Hier wird also PU eher aus der Sicht der Kybernetik betrachtet, also unter dem Gesichtspunkt der bewußten Steuerung und Regelung des Schülers durch den Unterricht und der genauen Erforschung der jeweiligen Rückkoppelungsmechanismen (siehe auch Kap. 1.1), wie in Abb. 3 und 4 erläutert.

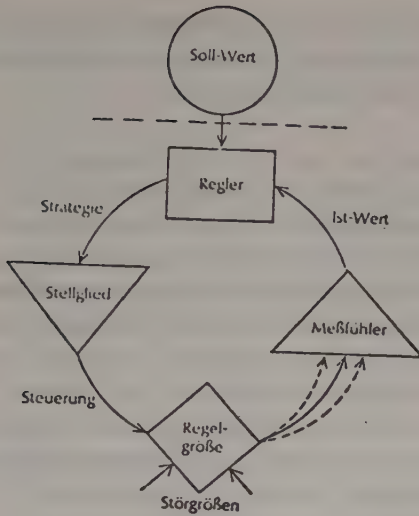


Abb. 3
Regelkreismodell
nach v. Cube 1976,
S. 15

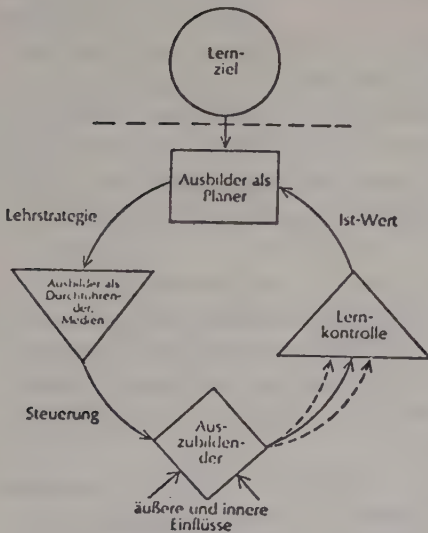


Abb. 4
Der Regelkreis in
der Ausbildung
v. Cube 1976, S. 16
PU automatisiert
speziell die
Meßfühler- und
Rückkopplungsfunktion
der Ausbildung (
a.a. O. S. 49)

Ähnliche Stellungnahmen finden sich bei Correll (1965), Schiefele (1970), Schirm (1971), Zielinsky (1971), Frank (1975).

Selbstverständlich läßt sich die Unterrichtstheorie auch nicht auf die Kybernetik reduzieren. "Der Anwendungsbereich der Kybernetik in der Pädagogik ist begrenzt."

(Landa 1971, S.3)

Walter befaßt sich in seiner Dissertation genauer mit dem Vergleich der Verwirklichung lerntheoretischer Forderungen in PU und LU und glaubt, daß "die Anwendung der Modelle der amerikanischen Lerntheoretiker auf die meist komplexe Wirklichkeit schulischer Lernsituationen" ziemlich problematisch sei (Walter 1971, S.1)

So sieht man heute den PU nicht mehr so eng gebunden an ganz bestimmte Lerntheorien und variiert bei Programmaufbau je nach Lernziel und Adressaten: So entstehen adaptive Programme (Abb.2).

Dabei wurden Versuche gemacht, die Individualisierung des Lernprozesses noch zu verstärken (Beiner 1972).

"Der Einbau von Sprungelementen zur zusätzlichen Individualisierung, um verschiedenes Vorwissen besser zu berücksichtigen, brachte einen signifikant besseren Lernerfolg als ein einfaches lineares Programm" (Beiner 1972, S.100).

Um eine Auflösung der allzu starren Programmierweise bemühen sich auch die sog. offenen Programme (nach Gabele 1968, Witte 1973): "Ist es möglich, die Enge des Programms aufzuheben, indem man den fest fixierten Regelkreis öffnet, um freie Fragen, Versuche und Formulierungen einströmen zu lassen?" (Gabele 1968, S.46)

"...die gedankliche Struktur zeigt sich im Wechsel zwischen gedanklichem Offensein und engen, kleinen Programmschritten... Nach jedem freien Bericht folgt ein gezielter Denkanstoß. Wer ihn sinngemäß beantwortet, kann die nächsten Programmschritte überspringen." (a.a.O., S.47)
(Zu offenen Programmen siehe auch Nicklis 1967).

Für v.Cube sind offene Programme allerdings keine echten Programme.

"Ein Programm ist immer geschlossen" (v.Cube 1976, S.51).

Gestaltpsychologen betonen den Ganzheitscharakter des seelischen Erlebens bei Sinneswahrnehmungen und Denkprozessen. Sie versuchen den monotonen Gleichschritt linearer Programme dadurch aufzulockern, daß sie am Anfang des Programms einen Überblick über das zu Lernende geben (Aha-Effekt) und die Zerstückelung (Atomisierung) der programmierten Lernweise abmildern. Die vom Schüler natürlich nur in Teilbereichen erfaßte Gesamtschau wird ihm dann durch systematische, kleine Lernschritte in allen Einzelheiten näher gebracht.

Einen kurzen Überblick über verschiedene Programmierungsmethoden zeigt Abb. 5.

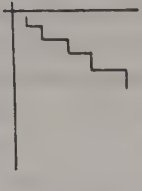
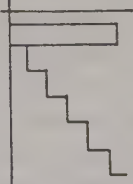
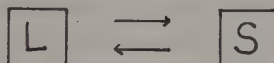
	SKINNER	CROWDER	PRESSEY	GILBERT	GESTALTPSYCHOL.
Informa- tion	1 - 2 Sätze	bis zu 1 Seite	ganze Kapitel	zu Beginn viel, dann abnehmend	unterschiedlich
Aufgabe	Lücken	Mehrfachwahl- aufgabe, schwer		verschieden	verschieden
Lösung	Verstärkung	feed-back Fehler erklärt	feed-back	nicht spezifisch	Aha-Erlebnis
Aufbau			vom Lehrbuch abhängig		
stimulus/ response- centered	response- centered	stimulus- centered	stimulus- centered	response- centered	stimulus- centered

Abb. 5 : Vergleich verschiedener Programmierungsmethoden
(nach Stroebe 1971, S. 115); siehe dazu auch Kap. 2.2

Thayssen weist auf den grundlegenden Unterschied in der Lerntheorie zwischen Buchprogramm und Lehrbuch hin:

"Lernen mit einem Buchprogramm stellt also eine Form der Zweiwegkommunikation dar. Der Schüler S reagiert laufend auf die Information, die er vom Lernsystem L erhält, mit einem feedback. Das Lehrsystem antwortet darauf zumindest mit einer (positiven oder negativen) Verstärkung.



Im Gegensatz dazu handelt es sich beim Lernen mit einem gewöhnlichen Lehrbuch um eine Einwegkommunikation, die dem Schüler keine Möglichkeit zur dauernden Kontrolle seines Lernfortschritts und zur Fehlerkorrektur bietet.



Die Schüler sind nämlich in der Regel nicht in der Lage, während des Lesens sich selbst an geeigneten Stellen Fragen zu stellen und zu beantworten und die dabei sichtbar werdenden Fehler zu korrigieren." (Thayssen 1976, S. 3/4)
Somit fehlt hier die von der Lerntheorie geforderte gezielte Verstärkung.

Im guten konventionellen Unterricht sollte vom Anspruch her nun eigentlich ständig eine Zweiwegkommunikation (Reiz, Reaktion, Rückkoppelung) zwischen dem Lehrer und dem Schüler stattfinden.

Ein guter Lehrer wird sich jedenfalls intensiv darum bemühen, auch in Klassen von ca. 30 Schülern, den Lernerfolg jedes einzelnen zu beobachten. Allerdings weist auch ein gut vorbereiteter Unterricht im Informationsgehalt der einzelnen Lernschritte und in der Art und dem Schwierigkeitsgrad der Fragen (Reize) unter Umständen größere Unterschiede auf.

Das gestaltet den Unterricht lebendig, hält sich aber nicht so strikt an lerntheoretische Forderungen.

Ebenso wie Art und Informationsgehalt der Reize variieren, so unterscheidet sich auch die Reaktion der einzelnen Schüler innerhalb einer größeren Gruppe. Unter der Annahme, daß jeder Schüler sich wirklich bemüht, jeden Gedankengang nachzuvollziehen und bei sich selbst im Stillen jede Frage zu beantworten, wird ihm das teilweise gut und teilweise nicht richtig gelingen.

Stark extrovertierte Schüler können im LU häufiger und intensiver reagieren, als sie es im PU tun würden. Sie würden damit die in Skinners Lerntheorie geforderte "aktive response" sehr viel besser erfüllen. Andere wiederum reagieren vielleicht nicht, zu wenig oder falsch, weil die Frage zu schwer oder mißverständlich war. Solche Verständnisschwierigkeiten, Lücken, logischen Brüche können bei den nur gedanklich reagierenden Schülern oft nicht sofort erkannt werden. Ihre falsche Reaktion wird vom Lehrer und dem Schüler selbst erst beim nächsten "Drankommen" bzw. bei der nächsten Klassenarbeit verbessert. (siehe dazu auch Kap. 1.3)

Besonders deutlich ist der Unterschied in der Lerntheorie zwischen PU und LU im Bereich der Rückkopplung. Man kann wohl davon ausgehen, daß Rückkopplung auch dann erfolgt, wenn der Schüler nur in Gedanken reagiert.

Die von Skinner geforderte nach außen hin sichtbare Reaktion als Voraussetzung für die Verstärkung kann sicher nicht von Tierversuchen auf einen lernenden und mitdenkenden Schüler übertragen werden. Ebenso muß wohl auch nicht der optimale Zeitintervall von 0,5 bis 3 Sekunden eingehalten werden. So kann man annehmen, daß in Teilen des Unterrichtsgeschehens und für manche Schüler im LU mehr und intensiver verstärkt wird als im PU. Der Lehrer kann auch in der Art der Verstärkung variieren (nur Nicken, Lächeln, Bestätigen, Zusatzfragen...) und dadurch den Unterricht interessanter machen. Er arbeitet erfahrungsgemäß auch mit negativer Verstärkung und damit lerntheoretisch auch im Sinne Crowders mit "Versuch und Irrtum".

Die variablere Rückkopplung kann aber auch einzelne Schüler in verschiedenen Unterrichtssituationen nicht erreichen oder falsche Reaktionen verstärken.

Deshalb meinen viele Pädagogen, daß PU für introvertierte und schwächere Schüler besonders gut geeignet sei. Er ver-
stärke systematischer, kontinuierlicher und in linearen
Programmen in der Regel nur positiv infolge sehr kleiner
Lernschritte.

Das macht PU aber auch monotoner und anstrengender.

Inwieweit diese lerntheoretischen Unterschiede zwischen PU
und LU sich auf den Lernerfolg bei biologischem Lerninhalt
(hier: Photosynthese) und in verschiedenen Altersstufen
auswirken können, versucht diese Arbeit experimentell zu
überprüfen.

2.2 Die geschichtliche Entwicklung des PU

Frühe Grundlagen

Den Lehrstoff in kleinen Schritten zu präsentieren, die
Schülerreaktion herauszufordern und sie dann zu bestätigen
bzw. zu korrigieren, ist ein alter pädagogischer Grundge-
danke.

So wurde Sokrates oft als der "erste Programmierer" be-
zeichnet. Er vermittelte das Wissen an seine Schüler, indem
er sie im Gespräch schrittweise von einer Erkenntnis zur
andern führte.

Ebenso forderte Comenius "genormte Unterrichtsmittel, die
alles allgemeinverständlich darstellen und dem Lernenden in
jedem Falle Hilfe bieten, so daß er alles von selbst auch
ohne Lehrer verstehen kann" (Zitat aus Didactica magna 1657
nach Schorb 1962). Er meinte auch, daß man vom Schüler kei-
nen Schritt fordern sollte, den er nicht leisten kann (nach
Correll 1969, S.17).

Dennoch muß PU im engeren Sinn von diesen frühen Grundlagen deutlich abgesetzt werden.

"Bei genauer Betrachtung täuschen gewisse Parallelen jedoch nicht darüber hinweg, daß Programme ihrer Struktur und ihrer Intention nach in dieser Weise als methodische Modelle noch niemals vorgegeben waren" (Schöler 1967, S.110).

Bei PU im engeren Sinn ist nicht nur jeder einzelne Lernschritt genau geplant, logisch aufgebaut und möglichst gleich groß, sondern die Schülerantwort ist auch - soweit möglich - vorkalkuliert und damit die positive Verstärkung. Dazu kommt, daß der gesamte Lernvorgang von der Information bis zur Rückkopplung personenungebunden abläuft, also ohne sozialen Kontakt. Er wird durch ein Buchprogramm oder eine Maschine übermittelt.

PU im engeren Sinne

Der eigentliche Ursprung des PU liegt im Jahr 1926, als Sidney L. Pressey, ein amerikanischer Psychologe und Verhaltensforscher, seine Lehrmaschine entwickelt hatte. Er ging davon aus, daß ein Schüler lernt, wenn man ihm sagt, ob seine Antwort richtig oder falsch sei.

Er entwickelte "A simple Apparatus which gives Tests and Scores and Teaches". Diese Lernmaschine präsentiert eine Frage und vier Auswahlantworten. Der Schüler wählt eine davon. Ist es die falsche, so erscheint die gleiche Frage immer wieder, bei richtiger Antwort erscheint die nächste Frage. Ein Zählwerk notiert die Anzahl der richtigen und falschen Antworten, so daß die Maschine zunächst als Prüf- und Übungsgerät eingesetzt werden konnte.

Wenn man die Fragen so stellt, daß ein durchschnittlich vorbereiteter Schüler sie beantworten kann, wird sie zum Lehrgerät.

Pressey wollte den Lehrer von lästiger Übungs- und Routinearbeit entlasten und ihn für pädagogische Aufgaben freimachen. Er programmierte aber nicht genügend Lehrstoff und

fand zur Zeit der Weltwirtschaftskrise wohl auch nicht genügend Interesse in der Öffentlichkeit. Silvermann meint, ihm habe die Überzeugungskraft Skinners gefehlt (Silvermann 1964, S.61).

Skinner und Holland trafen anfangs der 50er Jahre auf bessere Umstände. Skinner veröffentlichte 1954 "The Science of Learning and the Art of Teaching" und stellte darin die Methode des PU auf eine lerntheoretische Basis (siehe dazu auch 2.1).

Er bemängelt an der Schule und dem lehrergeleiteten Unterricht vor allem die vielen negativen Verstärkungen. Er meinte, durch ein genaues Vorplanen des Unterrichts und Aufbereiten in so kleine Lernschritte, daß jeder Schüler sie wirklich nachvollziehen könne, würden beim Lernen nur überwiegend positive Erfahrungen gemacht und damit die Einstellung zur Schule und der Lernerfolg verbessert. Er untermauerte seine Theorie durch vorführbare Dressurleistungen an Tieren und teilweise auch an Studenten. Obwohl seine streng behavioristische Lerntheorie (nur beobachtbare Reaktionen können gelernt und verstärkt werden) und vor allem seine Ableitung von Tierversuchen auf heftige Kritik stießen, erregte er großes Aufsehen.

Damit begann nicht nur eine Verbreitung des PU von USA aus in praktisch alle Länder der Erde, sondern auch eine erbitterte Diskussion. Es bildete sich einerseits ein Lager von Anhängern und andererseits eine Gruppe, die dem PU in völliger Ablehnung gegenüberstand.

Kaum eine Lehrmethode hat jemals eine so intensive Diskussion ausgelöst. (siehe dazu auch 2.7)

In der Bundesrepublik teilt man diese Zeit in drei Phasen ein (Plöger 1979, S. 599, nach Nicklis 1965).

Die erste (1961/62) ist die des "aufhorchenden Fragens",
die zweite (1963) die der "Information und Orientierung",
die dritte (nach 1963) die der "eigentlichen Erforschung".

In der dritten Phase kam es zunächst zur Entwicklung von Langzeitprogrammen (Dralle 1965); dies sind Lernprogramme, die über mehrere Monate und teilweise über das gesamte Schuljahr hin bearbeitet werden. Aufgrund von Einsatzschwierigkeiten kehrte man jedoch wieder zu Kurzzeitprogrammen zurück (z.B. Eingreifprogramme: Meyer 1973), deren Einsatz zwei bis zehn Stunden dauert.

Interessant ist , daß die Programmierte Instruktion in den Ostblockländern (Sowjetunion, DDR) eine rel. gleichartige Entwicklung wie im übrigen Europa durchgemacht hat (nach Vogt, Zänker et.al. 1968), die sich von der in den USA unterscheidet. Typisch für die europäische Entwicklung ist eine Einbettung in die pädagogische Kybernetik, bei der die Probleme von der Optimierung der Steuerung und Regelung der Lernprozesse im Vordergrund stehen. (v.Cube, Frank). Diese deckt sich nur teilweise mit der "Technology of Education" in den USA.

Vogt schreibt zu dieser eher unerwarteten Gemeinsamkeit:
"Wenn zunächst angenommen wurde, daß sich die ideologisch bestimmte Ost-West-Spaltung der europäischen Pädagogik auch auf die Programmierte Instruktion auswirken würde, so hat die bisherige Entwicklung diese Annahme nicht bestätigt. Vielmehr hat die PI im europäischen Westen und Osten eine rel. gleichartige Entwicklung genommen (Vogt et al. 1968, S. 1).

Während zu Beginn der 70er Jahre die Phase der intensiven Erprobung noch andauerte (Walter 1971; Schneider, Grundmann-Hencke 1973; Gottwald, Ripota 1975) und manche Autoren neue Programmformen erforschten (Beiner 1972; Meyer 1973), gibt es in den späten 70er Jahren nur mehr wenige Veröffentlichungen zum PU.

Das große Interesse bei Befürwortern und Gegnern sank stark ab. Gründe dafür liegen an den Schwierigkeiten beim Einsatz individueller Lehrmethoden in konventionell geführten Schulen und unter anderem auch an der mangelnden Bereitschaft vieler Lehrer zu schwierigen, zeitaufwendigen Programmierarbeit und Erprobung.

So gab es vor allem Bestrebungen, PU möglichst gut in den konventionellen Unterricht zu integrieren (Schöler, Witte, Thayssen).

Erst die 80er Jahre brachten durch die Anschaffung von Computern in vielen Schulen wieder neues Interesse an dieser Lehrmethode (Winde 1984; Keil an der Zentralstelle für PU in Augsburg).

2.3 Einsetzbarkeit des PU

(für bestimmte Lerninhalte und im Unterricht)

Die Meinungen darüber, für welche Lerninhalte und in welchen Unterrichtssituationen PU eingesetzt werden kann und soll, gehen weit auseinander.

"Durch Maximalisierung der Rückverstärkungsfrequenzen und Minimalisierung der Lernschritte, d.h. der Fehlermöglichkeit... ist für Skinner jedes Verhalten beliebig formbar" (Plöger 1979, S.564).

Dieser absolute Anspruch der Anfangszeit des PU mußte nach einer gründlichen Erprobung stark eingeschränkt werden. Frank (1962) vertrat noch die Ansicht, daß 80% aller Lehrstoffe wirkungsvoller durch eine gute Lehrautomation - Software vermittelt werden könnten als im persönlichen Unterricht, während Weltner meint, daß Lehrprogramme nur

begrenzte Lehrfunktionen übernehmen können (in: Sonderbeilage der Süddeutschen Zeitung vom 27. März 1968 zum Symposium der "Gesellschaft für programmierte Instruktion" in München).

Generell kann man wohl sagen, daß sich PU nicht eignet für nicht objektivierbare und nicht reproduzierbare Sachverhalte. "PU kann vom Lernenden selbständig für die sichere Erreichung exakt angegebener Lernziele benützt werden" (v.Cube 1976, S.79). Schwierig erscheint es, Lernziele mit problemlösenden bzw. sozialen Lerninhalten zu programmieren. Von Cube schlägt dafür eigene Programmtypen vor. So erweitern Problemprogramme die bisherigen Möglichkeiten des PU in Richtung eines produktiven, problemlösenden Lernens; Gruppenlernprogramme ermöglichen eine flexiblere Kombination aus programmierter Steuerung und lernzielorientierter Kommunikation (v.Cube 1976, S. 8).

Noch größere Probleme als die Auswahl der Lernziele und Lerninhalte macht die Integration in den unterrichtlichen Zusammenhang. Während in den 60er Jahren Forderungen laut wurden, die einen verstärkten Einsatz von Langzeitprogrammen postulierten und damit einen weitgehenden Ersatz des lehrergeleiteten Unterrichts (Dralle 1966, S. 24): "Wir sind daher der festen Überzeugung, daß die Jahrgangsklassen mit ihrem Geleitzugsystem nicht mehr länger zu halten sind... Ihre Auflösung ist das zwingende Gebot unserer Zeit." , sieht man die Situation heute weniger dramatisch: Es ging und geht vielmehr darum, ob es im unterrichtlichen Geschehen Orte gibt, an denen der Lernprozess am besten von einem Programm gesteuert werden kann.

Als Möglichkeiten des Einsatzes von PU ergeben sich:
in der Schule:

- kurzfristig oder längere Zeit
- in Einzelarbeit oder Gruppenunterricht
- zur Neudurchnehmung oder Übung
- bei Abwesenheit oder Anwesenheit des Lehrers
- nur in der Schule oder in Kombination mit Hausaufgaben

zur häuslichen Bearbeitung:

- bei unterschiedlichem Wissensstand der Schüler
- zu Beginn eines neuen Lehrstoffes oder Schuljahres
- bei längerer Krankheit einzelner Schüler
- zur Wiederholung vor Prüfungen
- zur Nachhilfe
- als Zusatzinformation für interessierte Schüler

Demnach kann man unterscheiden: (nach Thayssen 1976)

- Einführungsprogramme
- Baustein- oder Elementprogramme (max. 2 Stunden)
- Übungsprogramme
- Wiederholungsprogramme
- Eingreifprogramme (2-10 Stunden)
- Parallelprogramme (parallel zu LU über ein anderes Thema)

Ausführliche Erläuterungen zum "Einsatz von Programmen im konventionellen Unterricht" finden sich auch bei Schöler 1968, S.113- 132; von Recum 1967, S. 13; v.Cube 1976, S. 79 - 86; Schuster 1978, S. 58/59.

"Die programmierte Unterweisung darf nicht losgelöst vom übrigen Unterrichtsgeschehen gesehen werden. Sie ist vielmehr sinnvoll in den ganzen Unterrichtsablauf zu integrieren. Das bedeutet, daß der Einsatz von Lernprogrammen sorgfältig geplant und ihre Funktion im Unterrichtsprozeß genau durchdacht werden muß. Das bedeutet auch, daß vorausgehende und nachfolgende Unterrichtsphasen auf das Programm abzustimmen sind." (Zielinsky et al. 1971, S.132)

Beichler sieht die Einsatzmöglichkeit eher beschränkt auf die Erwachsenenbildung (berufliches Ergänzungswissen) und auf die Oberstufenschüler höherer Schulen (zur Vertiefung und Wiederholung von Lehrstoff, keinesfalls für die Neudurchnahme). Er lehnt den Einsatz in Volksschulen völlig ab

und hält als für PU gesonders geeignet technische, mathematische und naturwissenschaftliche Themen. (Beichler 1971, S.49-53)

Vor allem für den Einsatz als Zusatzinformation für interessierte Schüler sind die Computerlernprogramme gedacht, die bei der Zentralstelle für PU in Augsburg ausgeliehen werden können.

Unter der Annahme, daß PU auch im Fach Biologie zu deutlichem Lernerfolg führen könnte (was für andere Fächer, v.a. für Mathematik nachgewiesen wurde), so bliebe immer noch zu klären, bei welchen Stoffgebieten, in welcher Weise und in welcher Altersstufe er eingesetzt werden soll. Derzeit kann diese Frage allerdings weniger aus rein pädagogisch-didaktischer Sicht beantwortet werden, weil nur sehr wenige Lernprogramme in Biologie vorhanden sind (siehe auch Kap. 2.9) und die vorhandenen oft nicht genau lehrplankonform.

2.4 Auswirkungen des PU auf den Lehrer

Die Diskussion darüber erstreckt sich von einem weitgehenden Ersatz über eine Entlastung bis zum Vorwurf der Mehrarbeit beim Einsatz von PU.

Daß ein Ersatz weder möglich noch wünschenswert ist, wurde vielfach erläutert. Viele Pädagogen halten jedoch eine Entlastung des Lehrers durch PU für möglich und nötig. Wenn dies gelänge, hätte der Lehrer mehr Zeit, sich mit neuen Erkenntnissen der allgemeinen Didaktik, der Unterrichtstechnologie und Mediendidaktik, der Bildungsökonomie, der Curriculumforschung oder gar mit neuen Wissenschaften wie der Kybernetischen Pädagogik zu beschäftigen, was evtl. zu einer Verringerung der Trennung zwischen wissenschaftlicher und praktischer Pädagogik führen könnte (nach Rauner, Trotier 1971).

Dralle hebt den Aspekt der Entlastung des Lehrers von methodischen Überlegungen hervor: "Der Lehrer wird nunmehr seiner eigentlichen Aufgabe als Pädagoge erst voll gerecht. Da die Masse der Schüler selbständig im Programm fortschreitet, hat er genügend Zeit, sich derer anzunehmen, die seine Hilfe in Anspruch nehmen wollen oder müssen" (Dralle 1966, S. 11).

Diese Idealvorstellung setzt natürlich ein großes Angebot an erprobten, möglichst optimierten Lernprogrammen voraus. Wenn aber eine fühlbare Entlastung durch PU gelingt, kann der Lehrer bis zu einem gewissen Grad den Schwerpunkt seiner Aktivität verlagern und sich verstärkt solchen Aufgaben widmen, die nur er allein zu leisten imstande ist. Er erhält so z.B. einen größeren Spielraum zur Interpretation, Diskussion und Persönlichkeitsbildung, mehr Gelegenheit für praktische Versuche und Übungen im Labor, zur Arbeit mit einzelnen Schülern und mit kleinen Schülergruppen, zur Unterweisung der Schüler im selbständigen Arbeiten und schließlich zur eigenen Unterrichtsvorbereitung und Weiterbildung.

Entlastung des Lehrers durch Programmierte Instruktion bedeutet nicht, daß dadurch sein Amt leichter würde. Es würde vielmehr noch verantwortungsvoller. "Der Lehrer muß noch mehr die Rolle eines persönlichen Beraters der Schüler übernehmen und versuchen, ihre Studien besser zu koordinieren" (v. Recum 1967, S. 13).

Sehr kritisch steht Frau Anders dieser "Rollenveränderung" des Lehrers durch PU gegenüber:

"Somit dürfte aus den vorliegenden Erfahrungen eindeutig klargeworden sein, daß der ursprüngliche Glaube, durch PU Lehrer einsparen und den Lehrer seinen "wesentlichen Aufgaben" zuführen zu können, restlos aufgegeben ist...Lehrer sind auch deshalb nötig, weil sich gezeigt hat, daß die den Programmen immanenten Motivationen keineswegs ausreichen, um über längere Zeit konzentriert und mit Interesse zu arbeiten." (Anders 1971, S. 100)

Wenn der Lehrer Programme im Unterricht einsetzt, unterscheidet man im wesentlichen drei Formen:

Der Lehrer kann:

- sich in die Programmarbeit einschalten ("interaction")
- parallel zum Programm unterrichten ("parallel instruction")
- Teile des Programms ersetzen ("take over").

"Interaction" wird von vielen völlig abgelehnt. Sie meinen, daß dadurch absichtlich die Wirksamkeit des PU geschädigt werde, um den motivierenden Effekt der Lehrerbeteiligung zu gewinnen. "Dabei opfern wir den Hauptvorteil des PU, nämlich den, daß alle Schüler während des ganzen Kurses mit ihrer eigenen optimalen Fortschrittsgeschwindigkeit arbeiten können" (Bung 1969, S. 34).

In ähnlicher Weise lehnen Zifreund, Dralle und v.Cube eine Hilfe des Lehrers während der Programmarbeit ab. So ist Dralle der Ansicht, daß unbedingt überwiegend Langzeitprogramme eingesetzt werden sollten, da sonst die Schüler sich im Endeffekt wieder vom Lehrer gängeln ließen und andererseits der Lehrer nicht genug entlastet würde (Dralle 1966).

Der Einsatz von kleineren Programmen ist ohne nennenswerte organisatorische Veränderung des Schulsystems möglich, doch tritt dabei die Entlastung des Lehrers auch nicht in einem so großen Umfang ein, weil der Lehrer seinen eigenen Unterricht auf das Lehrprogramm beziehen und sorgfältig planen und vorbereiten muß. Dazu kommen noch eine Reihe organisatorischer Arbeiten, so daß die erwünschte Rationalisierung wieder aufgezehrt wird. Dieser Meinung ist auch Döring, der eine Studie über "Lehrerrolle und Lehrerverhalten im PU" herausgegeben hat (Döring 1977 im Rahmen des Forschungs- und Entwicklungszentrums für objektivierte Lehr- und Lernverfahren GmbH = FEOll). Darin führt er aus, daß der Einsatz von Unterrichtsprogrammen den Lehrer nicht von seiner Planungs- und Organisationsfunktion schlechthin entlastet.

Bei einer entsprechenden Befragung gaben 38% der Lehrer, die PU eingesetzt hatten, an, einen ebenso hohen Arbeitsaufwand bei Programmeinsätzen gehabt zu haben wie im traditionellen Unterricht. 15% führten sogar eine Mehrbelastung an (Döring 1977, S.12/13).

Eine ganz wichtige Rolle kommt dem Lehrer sicher bei der Einführung eines Lernprogramms in einer Klasse zu. Dabei beeinflusst die persönliche Einstellung des Lehrers wesentlich den Lernerfolg. Der Lehrer sollte gut informiert sein über den PU und die Programmarbeit möglichst gut in den übrigen Unterricht integrieren (Keil 1977). Die Schüler müssen das Gefühl haben, daß sich der Lehrer für ihre Arbeit interessiert.

Zu dem Vorwurf, daß der Lehrer in seiner Funktion durch Programme eingeschränkt und zum bloßen "Lückenbüßer" des Programms würde (v. Cube 1976, S. 87), meint Silvermann: "Da diese Programme von Lehrern erstellt werden, wird die Funktion des Lehrers eher vergrößert als verkleinert...PU ist nur ein Mittel, die Effektivität erfahrener Lehrer zu vervielfältigen" (Silverman 1969, S. 28)

Viele Autoren weisen darauf hin, daß die Beschäftigung und der Einsatz von Lernprogrammen Rückwirkung auf die Lehrmethode im lehrergeleiteten Unterricht habe.

Das Präsentieren des Stoffes in kleinen, klaren Denkschritten, die überaus klare Gliederung und die ständige Rückkopplung mit dem Schüler begünstigen auch im LU den Lernerfolg. Beim Vorbereiten des Unterrichts nach den Gesichtspunkten des PU ist der Lehrer zu einer "gründlichen Reflexion" gezwungen, da "jeder Satz, jeder Begriff und jede Aufgabe" aus der Sicht des Adressaten gesehen werden muß (nach v. Voigt 1969, S.214/215).

Bei der Erprobung von Programmen ist der Lehrer besonders stark auf die Mitarbeit der Schüler angewiesen. Sie werden aufgefordert, zu jedem einzelnen Lernschritt und zu den Fragen Stellung zu nehmen.

Aus den Fehlern der Schüler kann der Programmautor Unklarheiten im Programm erkennen. So versetzt sich der Lehrer noch mehr als sonst in die Schülerrolle und der Schüler in die Lehrerrolle.

Das fertige Programm kann dann im größeren Rahmen diskutiert werden, d.h. nicht nur von Lehrern und Schülern, sondern auch z.B. von Eltern. Diese Art von Unterricht kann somit, wie keine andere, exakt nachvollzogen und daher auch nachträglich diskutiert werden.

Der Lehrer sollte also keinesfalls durch PU verdrängt oder gar ersetzt werden. Im Idealfall gewinnt er durch ihn mehr Zeit für pädagogische Arbeit und Anregungen für seine eigene Unterrichtstätigkeit.

"Die Verantwortung für die Unterrichtsgestaltung muß dem Lehrer überlassen bleiben." (Zielinsky et al. 1971)

2.5 Ein Vergleich von PU mit Buch und Computer

Daß es sich bei PU mit Buch und Computer um dieselbe Unterrichtsmethode mit verschiedenen Mitteln handelt, wird allgemein anerkannt. Ein Buchprogramm ist ebenso ein Lehrsystem, bei dem der Lernvorgang ohne die direkte Kontrolle einer anderen Person erfolgt, wie beim computergesteuerten Unterricht (CUU).

Allerdings ergeben sich durch Computer neue Möglichkeiten für PU, sowohl hinsichtlich der "Automation der Meßfühler und Rückkopplungsfunktionen" als auch hinsichtlich des "Umfangs und der Flexibilität" dieser Funktionen (v. Cube 1976, S.55).

Computerprogramme können sehr viel stärker verzweigte Lernwege durchführen. So kann verschiedenes Vorwissen und Interesse der Schüler noch besser mit eingeplant werden (höhere "Lernvariabilität").

CUU gewährleistet eine höhere Mogelsicherheit.

Die Darstellung auf dem Bildschirm kann evtl. - beim Einsatz entsprechender Geräte und Programme - ansprechender und variabler gestaltet werden als in Buchprogrammen. Zumindest für eine bestimmte Zeit übt die hochentwickelte Technik eine gewisse Faszination auf viele Schüler aus und macht das Lernen dadurch attraktiver.

Wenn die Schüler gut in die Bedienung eingewiesen sind, ist ein Computer leichter zu handhaben als ein mehrfach verzweigtes Buchprogramm. Das viele Hin- und Herblättern entfällt.

Vorteile für den Lehrer ergeben sich daraus, daß bei entsprechender Programmierung Art und Zahl der Fehler sowie die Lernzeit leicht registriert werden können. Somit können sie gezielter verbessert und die Lehrstrategie darauf eingestellt werden.

H.Walter hebt die Bedeutung des PU für die didaktische Forschung besonders hervor, indem er ausführt:

"...daß sich Lehrprogramme in vorzüglicher Weise für die Experimentelle Erforschung von Lehreinheiten verschiedener Struktur eignen...da im Gegensatz zu allen herkömmlichen Unterrichtsmethoden die experimentellen Bedingungen, soweit es sich um die unabhängigen Variablen handelt, rel. eindeutig definiert und vor allem kontrolliert werden können." (Walter 1971, S. 7)

Computerprogramme sind dafür ganz besonders gut geeignet, weil Änderungen, Vervielfältigungen, Durchführung des PU und vor allem die Auswertung schneller und leichter durchgeführt werden können als bei Buchprogrammen.

Voraussetzung dafür ist natürlich wieder die entsprechende Ausrüstung mit geeigneten Geräten und Programmen.

Es erhebt sich indessen grundsätzlich die Frage, inwieweit sich der "Grad der Automatik" auf die Lernwirkung auswirkt. Die Effektivität von PU hängt sicher in weit höherem Maße von der Strategie ab und dem adäquaten Einsatz von Medien

als vom Grad der Automationstechnik. Entscheidend für das Lernen mit Lehrmaschinen ist wohl kaum die Apparatur, sondern das darzubietende Material. "Das Programm ist wichtiger als die Technologie" (Hilgard, Bower 1971, S. 664). Auch der Computerfachmann Keil äußert sich in diesem Sinne. In der Zentralstelle für PU in Augsburg werden unter seiner Leitung Versuche durchgeführt, inwieweit Computer den Unterricht unterstützen können. Dabei kommt er zu dem Schluß, daß sich zwar beim Computereinsatz "ganz andersartige Einsatzmöglichkeiten" für PU ergeben, aber "dort wo das einfache Buchprogramm voll wirksam ist, sollte man dieses auch benutzen" (Keil 1975, S. 9).

Im Rahmen des FEOll (Forschungs- und Entwicklungszentrum für objektivierte Lehr- und Lernverfahren GmbH) lief eine Langzeituntersuchung über den Vergleich von Buch- und Computerprogrammen (Krause, Sageder 1975), deren Ergebnis ist, daß

keine Unterschiede zwischen beiden Formen von PU bestehen

- im Grad der Eigenaktivität des Adressaten
- in Grad und Umfang der Rückkopplung
- in Lernwirksamkeit und Prognostizierbarkeit des Lernerfolgs.

Der zusammenfassende Kommentar dieser Studie lautet:

1. There is no difference of learning achievement among both systems.
2. Initial differences in attitudes (toward programmed learning) in favor of the C-version disappear over time.
3. Both, the development and use of programmes request more organizational efforts, and
4. is appreciably more expensive for the C-version than for the B-version.

(Krause, Sageder 1975, S.III)

Staeck hält noch 1980 die Bedeutung des computergestützten Unterrichts für vernachlässigbar, da dieser sich fast ausschließlich in der Entwicklung befinde und bis auf Modellschulen in absehbarer Zeit schon aus Kostengründen in der allgemeinbildenden Schule keinen Eingang finden werde (Staeck 1980, S. 65).

Nach einer Veröffentlichung über die Rechnerausstattung der Bayrischen Schulen, Stand Mai 1984 (in : schulreport, Schmittlein 1985, S. 3) gibt es aber allein an bayerischen Schulen 5 771 Rechner bzw. Arbeitsplätze (davon 2 212 an Gymnasien). Damit kann sicher nicht computergesteuerter Unterricht im großen Umfang erteilt werden, aber diese Unterrichtsform ist für die Zukunft nicht völlig außer acht zu lassen.

"Wiedererweckt wurde CUU zunächst nur durch die zwischenzeitlich rasant weitergegangene technische Entwicklung und den Druck eines vehement expandierenden Computermarktes und nicht durch entsprechend entwickelte didaktische Konzepte und konkrete Unterrichtsmaterialien" (Winde 1984, S. 34). Letzteres ist wohl die Hauptursache für eine gewisse Stagnation auf diesem Gebiet. Dazu kommt, daß die Computerfabrikate und -sprachen zunächst noch eine Austauschbarkeit von Programmen weitgehend verhindern. So hält die Zentralstelle für PU in Augsburg eine Menge ausleihbarer Computernlernprogramme für verschiedene Fachbereiche bereit, von denen aber die Schulen nur sehr wenig Gebrauch machen.

Dabei gibt es vor allem im Fachbereich Biologie Lerninhalte, denen Computersimulationsprogramme besonders gerecht werden (z.B. aus dem Bereich der Evolution: Winde 1984, S. 29 - 33; aus der Entwicklungsphysiologie. Anxolabéhère et al. 1980, S. 377 - 394)

"Viele biologische Experimente sind zu komplex, zu zeitraubend oder zu riskant, um sie in einem normalen Labor für Anfangssemester durchzuführen" gab Gerard in einem Bericht über eine Konferenz an der Universität von Kalifornien im November 1965 zu bedenken. (Gerard 1967, S. 69). So könnte

die theoretische Vorbereitung, die Wiederholung und im Notfall der Ersatz aufwendiger Experimente durch Computerunterricht simuliert und programmiert aufbereitet werden.

Zusammenfassend kann man sagen, daß Buchprogramme und Computerprogramme verschiedene Präsentationsformen einer ähnlichen Lehrmethode sind. Computerprogramme eröffnen neue Möglichkeiten, sind aber ungleich aufwendiger und teurer. Außerdem setzen sie Anschaffung, Funktionstüchtigkeit und Verfügbarkeit teurer Geräte und der speziell für diese Geräte entwickelte Programme voraus.

Bei komplizierteren Geräten müssen die Schüler erst mit der genauen Bedienungsanleitung vertraut gemacht werden. Der Vorteil der Orts- und Zeitunabhängigkeit von PU mit Buchprogrammen wird beim PU mit Computern stark eingeschränkt. Wenn daher der gleiche Lerninhalt auch mit einem Buchprogramm vermittelt werden kann, ist diese einfachere, billigere Methode vorzuziehen.

2.6 PU im Urteil von Lehrern und Schülern

Befragungen von Lehrern und Schülern, in denen die Einstellung zu PU getestet wurde ohne Rücksicht auf den Lernerfolg bzw. spezifische Fachinhalte, führten zu einem insgesamt eher positiven Ergebnis.

Dies gilt auch für Langzeitversuche. Deshalb wurde in dieser nachfolgenden Untersuchung auf einen "Einstellungstest" verzichtet und nur der Lernerfolg überprüft.

Sicher ist die unter Schülern und Lehrern Nordrhein-Westfalens in den Jahren 1967 - 1971 durchgeführte Befragung besonders aussagekräftig (400 Schulen, 17 078 Schüler, 805 Lehrer). Danach empfanden es 82% der Schüler als angenehm, mit PU zu arbeiten. Die Zahl der sehr positiv eingestellten nimmt im Langzeitversuch ab, dafür nimmt die mittlere Einstellung zu, die völlig negative Einstellung nimmt nicht zu, so daß sich insgesamt, auch nach vier Jahren, eine positive Einstellung ergibt.

Gegliedert nach Altersgruppen arbeiten jüngere Schüler (bis 14) noch lieber mit Programmen als Ältere (bis 18), Grund- und Hauptschüler lieber als Realschüler und Gymnasiasten, am wenigsten gern Berufsschüler (Schneider, Grundmann-Henke 1973).

Die negative Beurteilung von Programmen bezieht sich nicht auf die programmierte Arbeitsweise, sondern auf die Art der Programme selbst. Die Schüler kritisieren Mängel an deren Aufbau.

Eine weitere, im Rahmen der FEOll mit Unterstützung des Kultusministeriums von Nordrhein Westfalen und des Bundesministeriums für Bildung und Wissenschaft durchgeführte Untersuchung (Hagemann, Carleer 1976) mit 56 Lehrern und 966 Schülern führte zu dem Ergebnis, daß Schüler besonders gerne mit dem sog. "Verbundmodell (V)" arbeiten. Bei diesem Modell erfolgte nur die Phase der Lösungserarbeitung mit einem Programm, der Rest mit lehrergeleitetem Unterricht. In der Untersuchung wurden Schüler teilweise nur mit PU, teilweise zuerst mit PU, dann mit V und teilweise in umgekehrter Reihenfolge unterrichtet. Beim Vergleich des lehrergeleiteten Unterrichts nur mit PU schneidet PU deutlich besser ab. Beim Dreiervergleich PU, V, Lehrer wird die Methode V bevorzugt.

Die Einstellung der Lehrer ist ebenfalls überwiegend positiv, wobei interessant ist, daß die Lehrer das positive "Ankommen" des PU bei den Schülern vor Beginn des Versuches unterschätzten. Sie meinten auch, daß sich der Schüler die Arbeit zwar einteilen und sich ständig selbst überprüfen könne, daß aber die reine Stoffvermittlung durch PU nicht so gut erfolgen könne wie durch LU. Der tatsächliche Lernerfolg war aber bei PU höher.

Petersen führte 1966 nach dem Einsatz eines Biologielerneerprogramms eine Befragung bei 758 Schülern durch. Danach lernten 46% der Schüler sehr gerne, 51% gern mit dem Programm und nur 2,9% hat es nicht gefallen. 65,4% würden für

den weiteren Biologieunterricht wieder ein Programm wählen, 87,4% hätten gern wöchentlich zwei oder mehrmals Biologieunterricht in Form von Programmen, 76,5% glaubten leichter und schneller gelernt zu haben und 86% empfanden das Programm als nicht langweilig (Petersen 1966, S. 91).

Auch eine Auswahl von Stellungnahmen, die sich nicht auf großangelegte Befragungen, sondern auf Erfahrungen und Beobachtungen an kleineren Probandenzahlen stützen, sei hier wiedergegeben. Es handelt sich dabei um persönliche Eindrücke, die nicht auf wissenschaftlichen Versuchsansätzen beruhen.

Esser 1969, S. 125: "Gerade dieses Tätigsein wird von Schülern als recht positiv empfunden."

Siedentop 1968, S. 55 : "Mir bekannte Versuche mit PU verliefen durchaus positiv."

Kunz 1970, S. 85/86 : "Durch das arbeitsunterrichtliche Verfahren wurde der "Durchschnittsschüler" gefördert...Den schwächeren Schülern gilt das Bemühen des Lehrers...Durch den PU kann, nach meinen Erfahrungen, die Förderung der leistungsfähigeren und begabteren Schüler stärker betrieben werden...Der konzentrationsfähige Schüler wird durch diese Maßnahme gefördert...In Klassen mit einer größeren Zahl schwächerer Schüler ist die arbeitsunterrichtliche Methode wegen ihrer "persönlichen Art" vorzuziehen."

Schuster dagegen 1978, S. 61 : "Für durchschnittliche und schwache Schüler ist der PU hingegen ergiebiger, da diese Schülergruppe sich den Stoff gewissermaßen portionsweise, dem eigenen Lernvermögen entsprechend im persönlichen Lerntempo aneignet."

Muslow meint, daß der PU besonders bei introvertierten, unsicheren, mittel- bis hochintelligenten Schülern Anklang finde, gesellige und extrovertierte sich dagegen in der Regel ablehnend verhielten (Muslow 1973, S. 23).

Diese Beobachtung bestätigt indirekt das Ergebnis einer Studie an der Pennsylvania State University mit PU in Biologie in einem "Elementary College Course" : "Students who

expressed no confidence in the Programmed method did significantly better on tests than those who had confidence." (Kantasewi et al. 1964).

Ein Bericht über den Einsatz von Computerprogrammen im O.P.E. Laboratory, Universities of Paris VI and VII schließt mit der Feststellung . "Many colleagues bring their students to the O.P.E.Laboratory to enable them to practise biology dialogues. They have done so year after year, despite the fact that there is no obligation to do so. This fact alone suggests strongly that the dialogues are in line with the actual requirements of biology education" (Anxolabéhère et al. 1980, S.394).

Keil veröffentlichte 1973 im Lehrerheft zu einem Mathematik-Lernprogramm einige Schülerstimmen zum PU, die nach der Arbeit mit dem Programm anonym abgegeben werden konnten.

Daraus einige Auszüge :

"Vorteil des Ganzen ist, daß man nicht auf die Mitschüler warten muß und so arbeiten kann, wie es einem aus der Feder geht. Nachteil ist, daß absolute Ruhe herrschen muß und somit nicht geschwätzt werden kann."

"Ich bin für PU, weil man gezwungen ist, während der Unterrichtsstunde angestrengt zu arbeiten. Sonst sitzt man ziemlich unbeteiligt in der Bank und läßt den Unterricht an sich vorüberziehen."

"Zu den Vorteilen gehört, daß man sich nicht die x Erklärungen für jemanden anhören muß."

"Im PU muß der Schüler alles überlegen und bekommt nicht wie üblich vom Lehrer alles vorgekauft."

2.7 Grenzen des PU

Zwar mag die Behauptung richtig sein, es ließe sich grundsätzlich alles programmieren, was in Verhaltensbegriffen beschreibbar ist, (Schäfer 1963), aber wenn sich ein Unterrichtsstoff programmieren läßt, dürfte das allein noch kein

ausreichendes Kriterium dafür sein, daß seine Verwendung in dieser Form auch pädagogisch wünschenswert und sinnvoll ist. PU wird immer nur bestimmte Teile des Unterrichts übernehmen können. Wie jede andere Lehrmethode kann er nur im richtigen Rahmen eingesetzt, seine Vorteile voll entfalten.

So ist PU für die Vermittlung von reinem Fakten- und Grundwissen besonders gut geeignet, während die Vermittlung affektiver Lernziele sowie soziale Lernvorgänge besser im lehrergeleiteten Unterricht und im Klassenverband erfolgen. Für viele Lernbereiche können die beim PU nötigen kleinen Lernschritte störend wirken. Sie erschweren die Eingliederung in größere Zusammenhänge. Im Extremfall kann dies zur Anhäufung von isoliertem Einzelwissen führen. (s.a. Kap. 2.9)

PU setzt beim Schüler eine hohe eigene Lernmotivation voraus.

Sie kann nur durch Bestätigung der richtigen Antwort, aber nicht durch sozialen Kontakt erhöht werden. Diese Motivation ist nicht bei jedem Schüler in allen Lernbereichen und vor allem nicht immer über eine lange Zeit hin vorhanden. Im traditionellen PU wird sie durch eine ständige, sofortige Verstärkung, d.h. durch eine Bestätigung der richtig durchgeführten Lernschritte erreicht. "Der Lernwille des Schülers geht also nicht vom Lernziel aus; es fehlt die übergreifende Zielperspektive." (v.Cube 1976, S. 68)

Lernprogramme, vor allem lineare im Sinne Skinners mit kurzen, frei zu formulierenden Antworten, gängeln die Denkwiese stark. Dazu schreibt v.Cube: "Eine Grenze liegt auch in der notwendigen Festlegung des Adressatenverhaltens... Das bedeutet weiter, daß der PU zwangsläufig Kreativität und divergierendes Denken einschränkt." (a.a.O. S.77)

Manche Aufgaben - so z.B. die Vermittlung von reinem Lernstoff und dessen Einübung - mögen durch Programme wirksamer als vom Lehrer zu erfüllen sein, aber "andere sind untrennbar an seine Person geknüpft: Erziehen können Programme

nicht, ebensowenig können sie Lernprozesse entscheidend motivieren; für die soziale Führungsrolle des Lehrers gibt es keinen Ersatz." (v. Recum 1967, S. 12)

Schiefele schreibt 1971 : "Einmal angenommen, alles Lehrwürdige wäre eindeutig (Anm. und damit programmierbar), dann ist damit noch nicht gesagt, daß alle Wege der Erkenntnis nur in kleinen Schritten eindeutiger Urteile vollzogen werden sollten...Es gibt Erkenntniswege, wo die Nuancen des Urteils eine Rolle spielen. Zu denken ist dabei an...Werturteile, ob sie nun Sachen, Sachverhalte oder Personen betreffen : Hier spielt das Dialogische mit allen seinen Spielarten, der sozial gestützte Erkenntnisprozeß, der nicht linear von Eindeutigkeit zu Eindeutigkeit fortschreiten kann, sondern in gleichsam kreisender Denkbewegung den Gegenstand, umschreitet, die entscheidende Rolle." (Schiefele 1971. S.103).

1968 erschien eine Sammlung von Gegenstimmen zum PU in "Programmiertes Lernen, kein Weg für unsere Kinder", die zum Teil übertrieben ideologisiert erscheint (Hillringhaus 1968). Daraus seien einige Zitate angeführt: "...daß wir es hier mit einer Vergewaltigung des eigentlichen Wesens des Menschen, mit einem Angriff auf seinen innersten Kern, seine Individualität zu tun haben." (S. 7)

"...(PU) zieht den Menschen herunter auf die Ebene einer dressurähnlichen Methodik, ja zieht ihn noch unter die Tierebene herab". (S. 8)

Auf den häufig von Befürwortern des PU angeführten Vorteil eingehend, daß PU die Furcht vor Blamage vor Lehrer und Mitschülern ausschalten könne, wird - recht polemisch - angeführt: "Man kann dabei von der - allerdings leider berechtigten - Voraussetzung ausgehen, daß das Perverse, ja Satanische darin sogar von Pädagogen kaum wahrgenommen wird...(PU strebt an) Strebertum, Dummheit und Hemmung unsichtbar zu machen...Statt der Klassengemeinschaft wird die Isolierung des einzelnen gefördert".

Ebenso wird die behavioristische, an Tierversuchen orientierte Lerntheorie angegriffen: "(Der Schüler wird) frag-

mentweise für fragmentarische Dressurleistungen bestätigt und als Pawlowscher Hund behandelt (S. 37). Die Pädagogik sollte sich hüten, nur technisch kluge Köpfe heranzuzüchten." (S. 49)

Auch Plöger sieht in seinem Resümée "25 Jahre PU" (Plöger 1979, S. 566/567) viele negative Auswirkungen des PU. PU gibt "...keinen Raum für Spontaneität...(der) Schüler lernt nur, um Bestätigung zu erhalten, also um des Erfolges willen (extrinsisch)". Er meint, daß Verstärkungen, durch die sich nach Skinner Motivationen aufbauen lassen, beim Menschen wesentlich komplexer verlaufen als bei Tieren, es in dieser Lerntheorie keinen Platz für Einsicht gebe, PU ein reiner Dressurakt sei und kein problemlösendes Denken ermögliche, sowie beim Schüler jeglichen Sozialbezug vermindere.

Bei den möglichst voraussehbaren und daher sehr kurzen Antworten, die oft nur aus einem Wort bestehen, sieht Kunz eine Gefahr für die mangelnde Förderung der sprachlichen Ausdrucksfähigkeit: "Durch diese Art der Antwort kann der Schüler nicht angehalten werden, einen grammatikalisch und ausdrucksmäßig richtigen Satz zu bilden" (Kunz 1970, S. 86). "Mit PU kann man dem Einzelkind zwar positives Wissen vermitteln, doch seine sozialen Anlagen muß man verkümmern lassen." (a.a.O. S. 9)

(siehe dazu auch Heitger 1968; Tulodzieki 1975; Gabele 1968; Fölsch 1975; Grupe 1973, S. 284-286)

K. Brotbeck geht vor allem mit dem Behaviorismus ins Gericht und meint, daß durch diese geistige Haltung, bei der keinerlei Rücksicht auf innere geistig-seelische Vorgänge genommen wird, der Lernende als eine Art Marionette behandelt wird. "Der Mensch wird zu einer automatischen, ichlosen, gehorsamen, sozial brauchbaren Kreatur programmiert werden können...Der manipulierbare Mensch, das Wunschbild jedes Reklamechefs, jedes Industriellen, der einen Markt für seine Ware sucht, wird das Leitbild des PU." (Brotbeck 1968, S. 30)

Solch ein Verkümmern der Eigenverantwortlichkeit, ein Umformen des Schülers zum reinen Befehlsempfänger, würde wohl auch durch intensiven Einsatz von PU kaum zu befürchten sein. Dennoch sollte sich jeder Pädagoge bewußt werden, daß längere PU-Phasen Gefahren in sich bergen. Der Lehrer sollte ihnen immer Diskussionsphasen folgen lassen und dem Schüler die Möglichkeit zum Fragen geben, sowie die Möglichkeit zum Kontakt mit den Mitschülern.

Daß das Problem der mangelnden Kommunikation und der weitgehenden Gängelung des Schülers durch PU kaum wirklich ins Gewicht fällt, sieht Schuster schon allein dadurch gegeben, "daß PU stets im Wechsel mit anderen Unterrichtsformen eingesetzt wird und nie über einen längeren Zeitraum erfolgt" (Schuster 1978, S. 46).

Schiefele sieht die Grenzen nicht in der Zeit des Einsatzes, sondern hält PU für bestimmte Lernbereiche ungeeignet: "Zu den Gegenstandsbereichen, bei denen gefragt werden muß, ob das Programm überhaupt adäquat zu lehren vermag, gehören neben dem Historischen auch das Ästhetische, Religiöse und Ethische."..."Wo die theoretisch uneingeschränkte fragende und antwortende Interaktion vom Lehrenden und Lernenden gefordert wird, kann die Lehraufgabe nicht an Programme und Apparate delegiert werden." (Schiefele 1971, S. 103/104)

Es bedürfte sicher einer langjährigen, schwierigen Untersuchungsarbeit, die Grenzen dafür genauer zu bestimmen, was keinesfalls programmiert unterrichtet werden sollte, wo PU sich eignet und welchen zeitlichen Anteil am Unterrichtsgeschehen er maximal einnehmen darf, um den Sozialkontakt nicht zu sehr zu vernachlässigen sowie ob es dabei eine Abhängigkeit vom Alter der Schüler gibt. Dies sollte auch dann bedacht bzw. untersucht werden, wenn nachgewiesen werden könnte, daß PU gute Lernerfolge hervorbringen kann.

2.8 Zusammenfassende Übersicht über Vor- und Nachteile des PU

Versucht man nun zusammenzufassen, was sich aus lerntheoretischen Überlegungen, aus Langzeitbeobachtungen und -untersuchungen, aus Berichten über den PU-Einsatz in kleinen Gruppen und eigenen Erfahrungen an Vorteilen des programmierten Unterrichts ergibt, so kann man anführen

Vorteile des PU

- ermöglicht dem Schüler eine große Eigenaktivität und weckt dadurch Lernfreude (in der Regel nur positive Verstärkung)
- ruhige Schüler werden aktiviert und zu selbständigem Arbeiten erzogen
- ermöglicht dem Schüler immer eine sofortige Beurteilung seiner Antwort
- kann individuell auf jede Schülerantwort eingehen, vor allem bei verzweigten Programmen
- häufig richtige Antworten geben dem Schüler Selbstvertrauen und Sicherheit
- kann verschiedene Lerntempi berücksichtigen
- der Schüler hat genügend Zeit zum Überlegen
- Begabte können zusätzlich gefördert werden
- spart Unterrichtszeit, vor allem, wenn Teile als Hausaufgaben gegeben werden
- schult die Konzentration
- verhindert die Angst vor Blamage vor der Klasse oder dem Lehrer
- schaltet Aversionen gegen den Lehrer beim Lernvorgang aus
- bringt weitgehende Unabhängigkeit von Ort und Zeit
- entlastet den Lehrer von Routinearbeit; er kann sich mehr der Auswahl der Themen, der Zusatzinformation und der Pädagogik widmen

- verringert die Vorbereitungszeit für den Lehrer
- hilft bei der genauen Fehleranalyse für jeden einzelnen Schüler

dagegen sind die Nachteile

- der persönliche, häufig motivierende Kontakt zum Lehrer fehlt; das Programm ist auf die Dauer monoton
- der Kontakt zu Klassenkameraden wird kaum gepflegt; dadurch besteht die Gefahr der Reduzierung sozialer Interaktionen
- auditiven Typen und Schülern mit ausgeprägtem Geltungsbedürfnis wird das Programm nicht gerecht
- setzt beim Schüler hohe Eigenmotivation voraus
- komplexe Zusammenhänge werden zerstückelt
- die Gefahr der Überanstrengung infolge der erhöhten Konzentrationsanforderung besteht
- die Denkweise wird stark vorbestimmt und läßt keinen Raum für eigene Ideen
- die Ausdrucksfähigkeit wird stark eingeschränkt und kaum geschult; mündliche Äußerungen fehlen ganz
- die Möglichkeit der erzieherischen Einwirkung kommt zu kurz
- die Variabilität des Lernvorgangs wird stark eingeschränkt
- kritische Einwände und Ergänzungen fehlen
- die Gefahr des Trödelns und Mogelns besteht
- der LU muß so gestaltet werden, daß PU sinnvoll eingegliedert werden kann.

Dazu kommt, daß die Entwicklung eines wirklich guten Lehrprogramms rel. teuer ist und wirtschaftlich nur dann vertretbar, wenn es im größeren Maßstab eingesetzt werden kann.

Diese Zusammenfassung gibt die Meinung einer Reihe von Pädagogen wieder. Eine genaue wissenschaftliche Überprüfung, inwieweit jeder einzelne Vor- und Nachteil für welche Lerninhalte und Schülergruppen besonders wichtig ist, wird vor allem im Bereich der "sozialen Komponente" schwierig sein.

Nachgewiesen wurde die Zeitersparnis durch PU (Köbberling 1971, Petersen 1966). Unzweifelhaft sind die Vorteile der Orts- und Zeitunabhängigkeit, Multiplikationsmöglichkeit und teilweise der Entlastung des Lehrers von reiner Unterrichtsvorbereitungsarbeit.

(siehe auch Kap. 1.3, S. 10/11)

Die genannten Nachteile ergeben sich größtenteils aus der Befürchtung, Schüler könnten durch PU einen Mangel an sozialem Kontakt erleiden. Sie würden zu sehr mit sich und dem Lehrstoff alleine gelassen. Diese Befürchtungen stammen aus der Lehrerschaft. Schüler empfinden den Umgang mit Lernprogrammen im allgemeinen nicht als so belastend (siehe auch Kap. 2.6, vor allem Schneider, Grundmann-Hencke 1973). Sie wünschen sich aber nach Zeiten programmierten Lernens Pausen und die Abwechslung mit Lehrerunterricht.

Dies sollte beim Einsatz unbedingt beachtet werden.

Inwiefern individuelles, weitgehend lehrerunabhängiges Lernen zum Trödeln und Mogeln verleitet, kann durch Lernzielkontrollen überprüft werden.

Ob und bei welchen Schülergruppen dadurch evtl. größere Wissenslücken auftreten als bei lehrergeleitetem Unterricht, versucht die nachfolgend beschriebene empirische Untersuchung in Teilbereichen zu klären. Ebenso soll überprüft werden, ob die überaus strenge, geradlinige Führung des Lernfortschritts, wie sie in linearen Programmen erfolgt, in verschiedenen Altersstufen und bei verschiedenem Schwierigkeitsgrad der Testfragen zu verschiedenem Lernerfolg führt.

Nicht überprüft wurde, in der vorliegenden Untersuchung (Kap. 3) ob bei längerem Programmeinsatz die Lernmotivation stark nachläßt. Kritiker meinen, daß die Motivation einerseits wegen des fehlenden persönlichen Kontakts und andererseits wegen der Einförmigkeit der Verstärkungsart, mit der Zeit stark absinke. Ob die Motivation für eine dreistündige Lerneinheit (mit Pausen) ausreicht, wurde

insofern indirekt überprüft, als eine mangelnde Motivation direkten Einfluß auf den Lernerfolg hat.

Ebenso wurde untersucht ob - im Rahmen dieser Versuchsbedingungen - gut motivierte (gute) Schüler mit PU einen höheren Lernerfolg haben als schlecht motivierte (schlechte).

2.9 Besondere Probleme, die beim PU im Fach Biologie auftreten

Unter den naturwissenschaftlichen Fächern in der Schule ist Biologie dasjenige, bei dem PU die geringste Rolle spielt. Dies zeigt sich schon an der geringen Zahl der vorhandenen Programme (siehe Schöler "Bibliographie zum PU" 1977 und Winkelbauer "Unterrichtsprogramme für den Biologieunterricht" 1978; Schuster 1978, S. 62/63) und der noch geringeren der lernmittelfrei zugelassenen (siehe Abb. 6). Demnach waren von 116 in Bayern lernmittelfrei zugelassenen Lernprogrammen nur drei für das Fach Biologie (52 für Mathematik).

Einen weiteren Hinweis auf die eher zurückhaltende Einstellung im Fachbereich Biologie dieser Lehrmethode gegenüber erhält man bei der Durchsicht fachdidaktischer Lehrbücher. Dort wird Pu entweder nicht (Vogel 1965; Kuhn 1975) oder eher im negativen Zusammenhang (Grupe 1973) erwähnt, wobei ganz bestimmte Forderungen für künftig zu entwickelnde und einzusetzende Programme aufgestellt werden.

Diese besonders starke Zurückhaltung im Fach Biologie beruht wohl auch darauf, daß das Ziel des Biologieunterrichts nicht die bloße Wissensvermittlung sein kann. Gerade das Fach Biologie eignet sich besonders zur Vermittlung affektiver Lernziele. Durch die Beschäftigung mit den Lebewesen kann Biologieunterricht :

- Ehrfurcht vor anderen Lebewesen
- Verantwortungsbewußtsein für die Natur (Umweltschutz),
- Sorgfalt im Umgang mit der eigenen Gesundheit und der der Mitmenschen
- Freude an der Vielfalt und Schönheit der Erscheinungsformen des Lebendigen

vermitteln.

Dazu ist PU nicht primär und ohne weiteres in der Lage. Um diese Lernziele zu erreichen, ist eine geistige Verarbeitung unabdingbare Voraussetzung. Der geeignete Rahmen dafür ist wohl eher das Gespräch mit dem Lehrer und den Mitschülern sowie eine persönliche, engagierte Präsentation durch den Lehrer.

Äußerst wichtig im Biologieunterricht ist der Umgang mit dem lebenden Objekt.

Zwar kann in die Programmarbeit eine Beobachtungsaufgabe an Tieren, Pflanzen oder Menschen eingebaut werden, aber nach den Grundprinzipien des PU (kleinste Lernschritte) können dabei immer nur Details betrachtet werden.

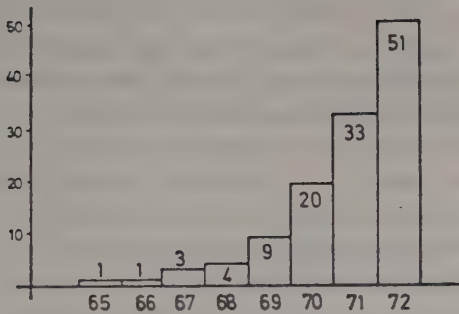
Die Erscheinungsform eines Lebewesens in seiner Ganzheitlichkeit kann PU aber kaum übermitteln. Dafür sind andere Unterrichtsmethoden besser geeignet (Gruppenunterricht, Unterrichtsgang).

Besinnlich Erlebnishaftes läßt sich nicht programmieren.

Ähnlich verhält es sich mit der Vermittlung typisch biologischer Denk- und Arbeitsweisen. Lernprogramme können durchaus Mikroskopierübungen, einfache Experimente, Tier- und Pflanzenpräparationen mit einbeziehen. Die Hauptaufgabe des Programms bleibt dabei aber immer die detaillierte Stoffvermittlung.

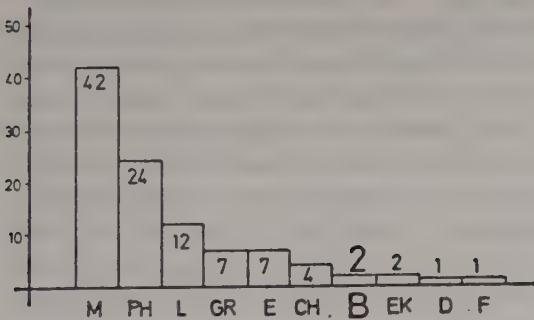
So äußern Fachdidaktiker ihre Bedenken zu PU.

Gruppe zitiert Kuhn: "Auch für ein biologisches Lehrprogramm gelten die gleichen pädagogischen und methodischen Prinzipien wie für den konventionellen Unterricht. Ohne Anschauung, Beobachten, Experimentieren, ohne Problemfragen und

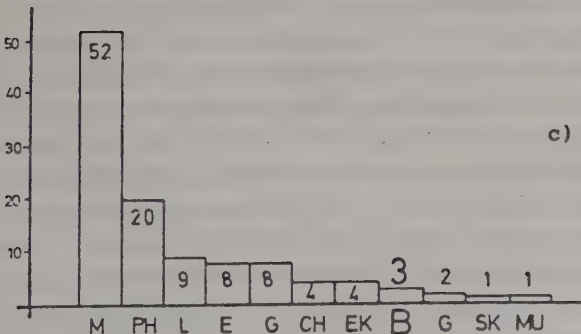


a) In Bayern lernmittelfrei zugelassene Lernprogramme (nach Keil 1973, in schulreport 1973/1)

(1972 nach Fächern gegliedert M 22, Ph 10, L 7, E 7, Gr 4, D 1)



b) In Bayern 1975 lernmittelfrei zugelassene Lernprogramme (insgesamt 102)



c) In Bayern 1980 lernmittelfrei zugelassene Lernprogramme (insgesamt 112)

Abb. 6 : Die Anzahl der in Bayern lernmittelfrei zugelassenen Lernprogramme in den Jahren 1965 bis 1980

die verschiedenen Versuche einer Lösung, ohne Denkanstöße und Ergebnisformulierungen in einem anständigen Deutsch geht es nun einmal nicht...

An die Stelle des inhaltleeren Wortspiels hat die Übung im biologischen Beziehungsdenken zu treten. Ein solches biologisches Programm zu entwerfen, ist in der Tat nicht leicht und es sind durchaus nicht alle Lehrstoffe dazu geeignet." (Grupe 1973, S. 285)

Seine Kritik setzt also an bei der überwiegend verbalen Lehrstoffvermittlung und der fehlenden Komplexität der Lernschritte, Fragen und Schülerantworten.

Er hält PU für fragwürdig, wo die "Lebensweise, Fortpflanzung, Pflege der Jungen usw." (a.a.O.) angesprochen wird. Er meint, daß die Phantasie der Schüler zu wenig angeregt werde und die Konzentration nach 25 - 30 Minuten stark absinke. Er beruft sich dabei auf Beobachtungen, die E. Kunz mit einem selbstentwickelten Programm in einer Sexta ("Die Hauskatze") gemacht hat. (siehe dazu auch Kap. 1.2)

Verglichen wurden dabei die Testergebnisse von 13 mit PU unterrichteten Schülern (87 nahmen teil) mit zehn konventionell unterrichteten.

Zwar ist auch der konventionelle Biologieunterricht nicht immer in der Lage, jeden Schüler emotional positiv anzusprechen, die Phantasie anzuregen und zu langandauernder, konzentrierter Mitarbeit anzuhalten. Auch der lehrergeleitete Biologieunterricht ist in vielen Bereichen auf rein verbale, einfache Sachmitteilungen angewiesen und durchaus nicht alles kann durch Anschauung, Experimentieren und Problemfragen übermittelt werden.

Dies ist vor allem am Gymnasium mit den sehr genau festgelegten Lehrplänen und den häufig geforderten Leistungskontrollen der Fall.

Nach eigenen langjährigen Erfahrungen beschränkt sich der konventionelle Biologieunterricht zu weit über 50% auf reine Sachmitteilung. Aber LU ist wohl sicher geeigneter zur Vermittlung affektiver und komplexer Lernziele als PU.

Recht ausführlich und genau beschäftigt sich Esser mit dem PU in seinem "Handbuch der Realschulpädagogik - Der Biologieunterricht" (Esser 1969, S. 119 - 128). Dabei führt er eine Reihe von guten Anwendungsmöglichkeiten für PU speziell im Fach Biologie an und sieht Grenzen hauptsächlich in einer starken Konzentrationsanforderung an die Schüler über längere Zeit und in den Kosten für die Entwicklung guter Programme.

Eher positiv behandelt auch Siedentop den PU im Biologieunterricht (Siedentop 1968, S. 53-55), und Spandl zitiert Petersen (1966) und Esser (1969) in positivem Kontext (Spandl 1974, S. 101/102).

Um den Besonderheiten des Faches Biologie Rechnung zu tragen, sollte ein Lernprogramm (nach Esser)

- Beobachtungsaufgaben einbeziehen,
- auch zeichnerische Darstellungen enthalten und als Antwort von Schülern fordern,
- Möglichkeiten des Experimentierens einbeziehen,
- Bezug nehmen auf Anschauungsmittel wie Film, Bild, Modell usw.,
- ein exemplarisches Thema umfassen und Ganzheitscharakter besitzen.

(nach Esser 1969, S.125)

Sicher ist die programmierte Lehrmethode in Biologie dort besonders geeignet, wo klare und genaue Sachmitteilungen gemacht werden können, so z.B. vor allem bei anatomischen, morphologischen und physiologischen Sachverhalten (nach Grupe 1973, Seite 285).

Aber es lassen sich auch "Untersuchungen am Objekt, Versuche, Mikroskopierübungen gut in den PU eingliedern". (Schuster 1978, S. 47).

Schuster glaubt sogar: "Auch in Biologie (oder Chemie) läßt sich beispielsweise der gesamte Stoff programmieren, was Versuche beweisen, die in dieser Hinsicht in Amerika unter-
nommen wurden. Freilich soll damit nicht gesagt werden, daß eine Programmierung des gesamten Biologiestoffes, auf un-
sere schulischen Verhältnisse übertragen, sinnvoll und
wünschenswert wären" (Schuster 1978, S. 44).

Es fehlt hauptsächlich an Vorschlägen und der Bereitschaft der Biologen, mit PU zu arbeiten: "Wünschenswert ist, daß Programme entwickelt und ausprobiert werden, die über das Gesamtgebiet der Biologie streuen und in absehbarer Zeit Aufschluß geben über biologisches Grundwissen und biolo-
gische Grundeinsichten. Die Überlegungen zu PU mögen zei-
gen...daß die Schulbiologen zu didaktischem, d.h. kriti-
schem Experimentieren herausgefordert sind."
(Grupe 1973, S. 287)

Das Lernziel, soziales Verhalten einzuüben, "gilt für den Biologieunterricht wie für alle anderen Fächer."
(Killermann 1980, S. 34)

Völlig unbestritten ist aber wohl die Unfähigkeit des PU
zur sozialen Erziehung.

Verglichen werden kann also nur, ob PU genügend Motivation,
Klarheit in der Sachübermittlung und Antwortüberprüfung
leisten kann, um den Schüler in die Lage zu versetzen,
Schultests ebenso erfolgreich wie nach LU zu beantworten.
Inwieweit die Zerstückelung komplexer Zusammenhänge, der
stark festgelegte Lernfortgang und der reduzierte Kontakt
zu Lehrer und Mitschülern sich negativ auf den Lernerfolg
bei biologischen Fachinhalten auswirkt, wurde noch nicht an
einer großen Schülerzahl und in verschiedenen Altersstufen
an einem physiologischen Thema (Photosynthese) untersucht.

3. VERGLEICHENDE FELDUNTERSUCHUNG ZWISCHEN LEHRERGELEITETEM UND PROGRAMMIERTEM UNTERRICHT

3.1 Grundkonzept der Versuchsanordnung und Hypothesen- bildung

PU spielt bisher im Biologieunterricht kaum eine Rolle. Die starke Zurückhaltung und Skepsis dieser Lehrmethode gegenüber beruht aber eher auf Eindrücken und Meinungen, selten auf eigenen Beobachtungen und Schülerbefragungen, die sich dann auf geringe Schülerzahlen, Einsatzzeiten und selten auf direkten Vergleich mit LU stützen.

Die Ausstattung der Schulen mit Computern und die Freude vieler junger Menschen an der Arbeit (und am Spiel) mit ihnen eröffnet der programmierte Lehrmethode neue Möglichkeiten.

Tatsächlich nimmt die Biologie aber unter den Naturwissenschaften eine Sonderstellung ein.

Mathematisch-physikalische Lerninhalte bieten sich zweifellos direkter für eine programmierte Übermittlung an. Wenn die Biologie auf diese Lehrmethode weitgehend verzichten will, sollte sie dies fundiert begründen können.

Wenn es aber Lerninhalte und Schülergruppen gibt, die mit gutem Lernerfolg programmiert unterrichtet werden könnten, müßte dies zunächst nachgewiesen werden.

Eine Lehrmethode kann nicht einfach eingesetzt werden, weil es sie gibt, weil sie Abwechslung bringt oder weil die Biologie sich Neuerungen im didaktisch-pädagogischen Bereich nicht verschließen sollte. Es muß erst gezeigt werden, ob diese Lehrmethode bei komplexeren biologischen Lerninhalten vergleichbaren Lernerfolg zeigt wie die sonst meist verwendete Methode, der lehrergeleitete, überwiegend verbale Frontalunterricht.

Inwieweit also die teilweise nachgewiesenen, teilweise offensichtlichen und teilweise vermuteten Vorteile durch die Nachteile überdeckt bzw. aufgehoben werden oder ob es auch im Fach Biologie Bereiche gibt, in denen PU erfolgreich eingesetzt werden kann, soll diese Untersuchung in Teilbereichen klären.

Bei bisher durchgeführten vergleichenden Untersuchungen spielte der fachdidaktische Aspekt keine Rolle. Der Schwerpunkt lag entweder ganz allgemein auf einem Vergleich von PU zu LU, (Köbberling 1971) auf einem Vergleich der Lerneffektivität verschiedener Programmierweisen (linear - verzweigt) (Beiner 1972) oder der Darbietungsweise (Buchprogramm - Computerprogramm) (Krause, Sageder 1975).

Wenig beachtet wurde bisher auch ein speziell im Gymnasium besonders wichtiges Problem der Lerneffektivität des PU in verschiedenen Altersstufen. Grundschullehrer unterrichten im allgemeinen während eines Schuljahres überwiegend eine Klassenstufe. In den Realschulen variiert das Alter der Schüler ca. zwischen 12 und 16 Jahren, während ein Gymnasiallehrer an einem Vormittag teilweise mehrmals zwischen Schülern im Alter von 12 bis 19 Jahren und älter wechselt. Da gerade in diesem Altersabschnitt entscheidende Veränderungen im Lern- und Sozialverhalten vor sich gehen, erschien es besonders interessant, ob PU im Vergleich mit LU hier zu unterschiedlichem Lernerfolg führt.

Uneinigkeit herrscht auch in der bisher veröffentlichten Literatur darüber, ob "gute" oder "schlechte" Schüler die Vorteile des programmierten Lernens besser für sich nützen können. Diejenigen, die den guten Schülern den besseren Lernerfolg mit PU voraussagen, meinen, daß bei ihnen die größere Lernmotivation und Konzentrationsfähigkeit vorliegt, die für eine längere Arbeit mit dem Lernprogramm unbedingt erforderlich ist.

Andere dagegen meinen, daß die Präsentation in kleinen Denkschritten und die Möglichkeit, das Lerntempo selbst zu

bestimmen, besonders den schlechteren Schülern zugute komme. Für die Schulpraxis wichtig ist wohl auch immer, ob verschiedene Lehrmethoden geschlechtsspezifische Lernerfolgsunterschiede zur Folge haben. Allgemein herrscht unter Lehrern wohl überwiegend die Ansicht, daß Mädchen und jüngere Schüler eher personengebunden lernen als Buben und ältere Schüler.

Aus diesen offenen Fragen ergibt sich die folgende Fragestellung und Hypothesenbildung.

Die vorliegende Untersuchung ist ein Methodenvergleich

- zwischen vollständig lehrergeleitetem Unterricht, im folgenden mit O bezeichnet
- und automatisiertem, individualisiertem, programmiertem Unterricht mit einem Buchprogramm, im folgenden mit P bezeichnet.

Dabei liegt der Schwerpunkt der Untersuchung auf dem biologischen Fachinhalt und einem Vergleich der Lernwirksamkeit bei verschiedenen Altersstufen.

Diese Grundüberlegung führte zur Auswahl des Themas "Photosynthese".

Dieses Thema spielt eine zentrale Rolle im gesamten Biologieunterricht. Hier wird die wichtige Reaktion der Umwandlung von Kohlendioxid in biologisch verwertbare Nahrung besprochen. Photosynthese schafft somit die Lebensgrundlage für Heterotrophe und kann als Angelpunkt zwischen den biologischen Teilbereichen der Botanik, Zoologie und Humanbiologie angesehen werden. Das Thema Photosynthese steht stellvertretend für physiologische Themen.

Im Zusammenhang mit Ökologie, Natur- und Umweltschutz, Evolution, Morphologie, Cytologie usw. taucht es als klassen- und themenübergreifender Lehrstoff in ganz verschiedenem Zusammenhang immer wieder auf.

So ist es auch zur Vermittlung in verschiedenen Altersstufen besonders geeignet. Killermann (1980) führt Photosynthese als besonders geeignetes Beispiel dafür an, von der Jahrgangsstufe 3 bis 13 immer wieder aus neuer Sicht aufgegriffen zu werden und damit einen gewissen Gesamtzusammenhang über alle Jahrgangsstufen zu erreichen ("Spiralprinzip"; Killermann 1980, S. 50).

Als verbindliches Lernziel ist "Photosynthese" im Lehrplan für bayrische Gymnasien in den Klassen 7. und 12. vorgesehen.

Zudem liegt ein Buchprogramm von B. Heigl "Photosynthese und Atmung" (Heigl 1981) vor. Es wurde bewußt ein fertiges Programm gewählt und kein eigenes konzipiert, weil es sich dabei um ein mehrfach über einen längeren Zeitraum an vielen Schülern erprobtes Programm handelt.

Das Programm enthält eine Reihe der von Esser (1969; S. 125) geforderten Besonderheiten für Biologieprogramme, d.h. Beobachtungsaufgaben und Zeichnungen von Versuchen, die von Schülern selbst durchgeführt werden sollen.

Aus Gründen der Vergleichbarkeit der Versuchgruppen und damit möglichst weitgehend Zeitgleichheit eingehalten werden konnte, wurden diese Versuche durch Ausschnitte aus vorhandenen Lehrfilmen ersetzt. (Klett Nr. 999019 und 999029 bzw. FWU Nr. 469 und 470). Ein Zusammenschnitt der Filmausschnitte in der vom Lernprogramm vorgegebenen Reihenfolge wurde an die Lehrer weitergegeben.

Um zusätzlich abzuklären, ob der erzielte Lernerfolg vom Einsatz der kurzen Filmausschnitte abhängt, wurde in einer Nebenuntersuchung eine Gruppe lehrergeleitet mit Film unterrichtet. Diese Untersuchung hatte nur die eine Aufgabe, den Lernerfolg, der evtl. vom Film ausging, zu überprüfen. Diese Versuchsgruppe erhielt

- lehrergeleiteten Unterricht mit kurzen Filmabschnitten in der gleichen Reihenfolge und Eingliederung wie im Lernprogramm,
im folgenden mit F bezeichnet.

Die Untersuchung teilt als Feldexperiment die Probleme aller ähnlichen Untersuchungen (Walter 1973; Staeck 1980; Stöhr 1981; Loewe 1983), so daß hier nur kurz darauf verwiesen werden soll. Die Schulklassen wurden in ihrem Klassenverband gelassen und der Unterricht zu der im Stundenplan vorgesehenen Zeit vom jeweiligen Biologielehrer durchgeführt. Die Lehrer waren gebeten worden, die Versuchssituation nicht zu sehr herauszustellen. Jeder Lehrer gab so innerhalb seiner Methode "sein Bestes", so daß von daher keine unbewußte Beeinflussung des Endergebnisses zugunsten einer Methode erfolgen konnte.

Eckel (1969) verlangt für ein pädagogisches Lernexperiment:

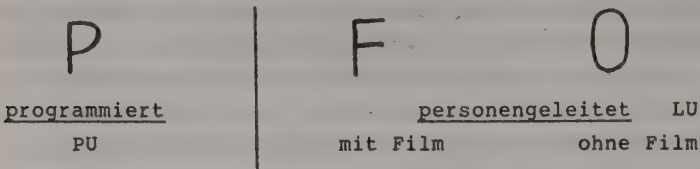
1. Es soll in der Schulklasse unter üblichen schulischen Bedingungen stattfinden.
2. Es soll sich auf einen "sinnvollen", didaktisch zubereiteten, in der Schule üblicherweise zu unterrichtenden Lehrstoff beziehen.
3. Abweichungen von 1. und 2. sollten möglichst gering sein.

Da ein psychologisches Lernexperiment (künstlich) nicht übertragbar sei und ein pädagogisches (im üblichen Rahmen) mangelnde Aussagegenauigkeit besitze, sollten möglichst viele Klassen aus der Gesamtheit der interessierten ausgewählt werden.

(nach Eckel 1969, S. 37 - 39)

Somit ergab sich folgendes Grundkonzept:

Vergleich zweier Lehrmethoden PU und LU
an drei Versuchsgruppen



mit gleichem Lerninhalt: "PHOTOSYNTHESE"
durchgeführt in:

7. Klassen (13jährige)
und 12. Klassen (18jährige)

im Rahmen des üblichen Schulbiologieunterrichts beim jeweiligen Biologielehrer.

Überprüft wurden anhand eines Tests (schultestähnlich)

absoluter Lernerfolg, Lernzuwachs, Behaltensleistung

Als Vortest, Haupttest und Nachtest wurde der gleiche Test durchgeführt.

Dabei wurden kognitive Lernziele überprüft.

Nach dieser Grundkonzeption ergeben sich folgende Hypothesen:

- H₁ : absoluter Lernerfolg, Lernzuwachs (und Behaltensleistung) unterscheiden sich signifikant bei Biologieunterricht mit einem Buchprogramm und lehrergeleitetem Unterricht
- H₁₋₀ : Programmierter Biologieunterricht zeigt gegenüber lehrergeleitetem Biologieunterricht keine signifikanten Unterschiede in absolutem Lernerfolg, Lernzuwachs (und Behaltensleistung).

Diese Hypothesen wurden überprüft durch einen Vergleich von PU mit lehrergeleitetem Unterricht mit und ohne kurzzeitigen Filmeinsatz bei

13 jährigen Schülern

(7. Klasse, Unterstufe des Gymnasiums) und

18 jährigen Schülern

(12. Klasse, Kollegstufe des Gymnasiums).

Dabei wurde, um die Ergebnisse zusätzlich zu differenzieren, nochmals aufgegliedert und gefragt, ob ein besserer Lernerfolg bei den verschiedenen Lehrmethoden PU (P) bzw. LU (F,O) vorliegt bei:

- Mädchen oder Buben,
um zu überprüfen, ob eine geschlechtsspezifische Abhängigkeit im Lernerfolg zwischen PU und LU besteht,
- Schülern mit guten oder schlechten Schulnoten,
um zu prüfen, ob die höhere Motivation und Konzentrationsfähigkeit der "besseren" Schüler oder der Vorteil der kleinen Lernschritte für "schlechtere" Schüler mehr zum Tragen kommt,
- Schülern mit extrem guten oder schlechten Schulnoten,
um zu prüfen, ob der o.g. Effekt noch verstärkt werden kann,
- Schülern mit größerem oder geringerem Vorwissen,
weil bei manchen Gruppen die Vorkenntnisse signifikante Unterschiede aufwiesen,
- Schülern mit extrem großem oder geringem Vorwissen,
um von möglichst gleichem Vorwissen auszugehen, da manche Schüler über das Thema "Photosynthese" relativ gute Vorkenntnisse hatten,
- Schülern, die vom gleichen Lehrer in den verschiedenen Methoden unterrichtet wurden,
um einen weiteren Punkt der im übrigen variablen Methode des lehrergeleiteten Unterrichts (siehe auch 3.2) konstant zu halten.

3.2. Inhalt und Ablauf des Unterrichts

Ziel des Unterrichtsverlaufs war es, bei unterschiedlicher Methode möglichst genau den gleichen Lerninhalt zu vermitteln. Vor allem der lehrergeleitete Unterricht sollte - bei aller Verschiedenheit der individuellen Gestaltung - einen wiederhol- und nachprüfbaren Ablauf haben. Um dies zu sichern, wurde zum einen ein genauer Zeitplan vorgegeben (mit Vor- und Haupttest drei Unterrichtsstunden), und außerdem erhielten die Lehrer vorgefertigte Folien für den Tageslichtprojektor (siehe Abb. 7 bis 10).

Auf diese Weise sollte eine möglichst vergleichbare Art des LU erreicht werden.

Die Gliederung war also durch die Folie und Anweisungen zur Unterrichtsdurchführung (siehe Anlage 1 u. 4) vorgegeben. Die Grundlage für die Gliederung der Stunde ergab sich zum einen aus dem Inhalt des vorgegebenen Buchprogramms und zum anderen aus dem "Modell für den Aufbau einer Unterrichtsstunde" nach Killermann (1980, S. 234 - 237).

Der lehrergeleitete Vergleichsunterricht war ein Frontalunterricht, bei dem schwerpunktmäßig die sog. "erarbeitende Unterrichtsform" (Stöcker 1970, S. 215) unter direkter Führung des Lehrers ablief. Längere dozierende Unterrichtspassagen sollten vermieden werden.

Bei diesem Lehrgespräch war der Lehrer allerdings eindeutig führend. Er führte die Schüler "nach vorgefaßter Zielsetzung und Planung" (a.a.O.).

Bei dieser Unterrichtsform handelt es sich wohl gegenwärtig um "die meistgebrauchte Form der Unterrichtsgestaltung" (a.a.O.). Da dies auch für den Biologieunterricht am Gymnasium gilt, begünstigt dies die Generalisierbarkeit der Untersuchungsergebnisse.

Die Lehreraktivitäten bestehen überwiegend in der Informationsgebung, dem Stellen von Fragen, dem "Impulsgeben" und der Reaktion auf Schüleraktivitäten.

Wichtig für diesen Untersuchungszusammenhang ist, daß der

Informationsgehalt seiner jeweiligen Ausführungen und seiner Antworten auf Schülerfragen sowie der Schwierigkeitsgrad seiner Fragen stark variierte.

Der Stundenverlauf war straff gegliedert und in seiner fragend-entwickelnden Methode dem Inhalt des Programms stark angepaßt.

Daneben wiesen die Versuchsgruppen die in Kap. 1.3 genau erläuterten Unterschiede in der Lehrmethode auf, d.h., die lehrergeleitet unterrichteten Schüler konnten jederzeit jede beliebige stoffbezogene Frage stellen, die vom Lehrer oder innerhalb des Klassenverbandes sofort beantwortet wurde.

Diese Antworten schließen evtl. Mißverständnisse, die aus der Formulierung der Frage bzw. der Antwort entstehen können, nicht aus.

Alle Schüler schritten im gleichen Lerntempo, das vom Lehrer bestimmt wurde, voran. Auf Verständnisprobleme konnte dann eingegangen werden, wenn der Lehrer sie erkannt hatte, d.h. der Schüler seine Schwierigkeiten in der Klasse vortrug.

Der Lernfortgang erfolgte nicht in so kleinen Schritten wie im Programm und nicht jeder Schüler reagierte aktiv auf jeden einzelnen Lernschritt.

Den programmiert unterrichteten Schülern wurde zum Lernprogramm ein "Arbeitsheft" ausgeteilt, in das sie die Antwort auf jede Frage eintragen konnten. Sie erhielten (schriftlich auf der ersten Programmseite und nach Bedarf vom Lehrer auch mündlich) kurze Anweisungen zum Benützen des Programms und konnten dann, dem eigenen Lerntempo entsprechend, im Programm arbeiten.

Der Ablauf des Lernvorgangs war dann genau vorgegeben und ließ keine Möglichkeit, auf eigene Ideen oder Einwände einzugehen.

Somit ergab sich für die Versuchsgruppen:

- P : Das Programm von B. Heigl (1981) wurde in gekürzter Fassung (nur der erste Teil, um die Versuchsdauer und den Einfluß von Störvariablen zu verringern), zusammen mit einem "Schülerheft" für die Programmantworten und einer Anweisung für den Filmeinsatz an die Lehrer verteilt. Es handelt sich dabei um ein lineares Programm, bei dem die Form der geforderten Antworten variiert. (siehe Anlagen 2, 3, 5, 6)
- O : Jeder Lehrer erhielt eine ausführliche Anleitung für die Durchführung des Unterrichts und mehrere Folien (siehe Abb. 8, Folie 1 - 4 für die 7. Klassen und Abb. 9 Folie 1 - 4 für die 12. Klassen). Die nötigen Versuche wurden besprochen.
- F : Jeder Lehrer erhielt eine ausführliche Anleitung für die Durchführung des Unterrichts und eine Folie (siehe Abb. 10 und 11) sowie die Kurzfilme und Anweisungen für deren Einsatz. Die nötigen Versuche wurden in Filmausschnitten gezeigt. Die Folie für die Methode F war weniger ausführlich als die bei der Methode O, damit in der verbleibenden Zeit die Filmausschnitte gezeigt und kommentiert werden konnten (siehe Abb. 11).

VERSUCHSGRUPPEN

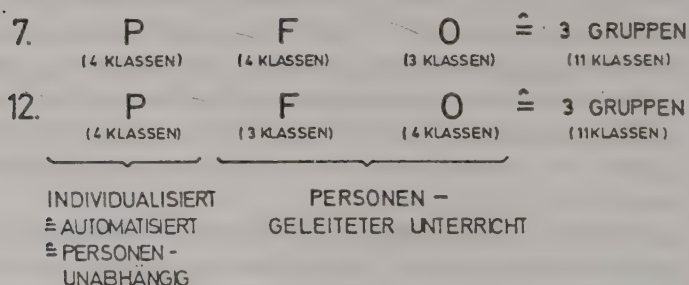


Abb. 7: Übersicht über die Anzahl der Klassen, die mit den verschiedenen Methoden unterrichtet wurden (P = PU; F = lehrergeleiteter Unterricht mit Film; O = lehrergeleiteter Unterricht ohne Film)

Durchgeführt wurde der Unterricht in den Jahren 1981 - 1983. Dabei war dem jeweiligen Biologielehrer die Wahl des genauen Zeitpunkts überlassen. Dieser ergab sich aus dem Lernfortschritt der Klassen und dem vorgeschriebenen Lehrplan.

Abb. 8: Folien 1 - 4 für den Tageslichtprojektor, verwendet im lehrer geleiteten Unterricht ohne Film (Methode O) in den 7. Klassen

PHOTOSYNTHESE

Sauerstoffentwicklung in Abhängigkeit von verschiedenen Faktoren

1. Nachweis der Sauerstoffentwicklung

günstig an Wasserpflanzen, weil der entstehende Sauerstoff in Form von Gasblasen aufgefangen werden kann.

Gasblasenversuch

- ⑤ Wasserpflanzen (Elodea) werden belichtet.

E: es entwickeln sich Gasblasen

J: die genaue Natur des Gases ist nicht feststellbar

Um zu zeigen, daß es sich bei dem Gas um Sauerstoff handelt, muß eine Nachweisreaktion durchgeführt werden.

Glimmspanprobe

- ⑤ Die Gasblasen werden aufgefangen und über längere Zeit gesammelt.

E: der Glimmspan fängt an zu brennen (Zigarette glüht hell auf)

J: es handelt sich bei dem Gas um Sauerstoff

NACHTEIL: lange Versuchsdauer, da viel Sauerstoff benötigt wird

FOLIE 2

- ⑤ eine Nachweisreaktion, die weniger Sauerstoff benötigt:
farbloses Indigocarmin wird ins Wasser zu den Wasserpestpflanzen gegeben.
Farbreaktionsnachweis

E: die entstehenden Gasblasen färben Indigocarmin blau

J: es handelt sich um Sauerstoff

Ist diese Sauerstoffentwicklung von außen beeinflussbar?

2. Lichtabhängigkeit

- ⑤ 3 verschiedene Glasgefäße mit 3 gleich großen Wasserpestpflanzen

① kein Licht

② schwaches Licht

③ helles Licht

E: 1 keine Gasblasen

2 wenige Gasblasen in einer Minute

3 viele Gasblasen in einer Minute

J: die Sauerstoffentwicklung ist von der Lichtstärke abhängig.

FOLIE 3

3. Kohlendioxidabhängigkeit

① drei verschiedene Glasgefäße mit drei gleich großen Wasserpestpflanzen

- ① Wasser ohne Kohlendioxid (abgekocht)
- ② Leitungswasser (mittlerer Kohlendioxidgehalt)
- ③ Wasser mit viel Kohlendioxid (Sprudel)

E: 1 keine Sauerstoffentwicklung
2 geringe Sauerstoffentwicklung
3 starke Sauerstoffentwicklung

J: Die Sauerstoffentwicklung ist vom Kohlendioxidgehalt der Umgebung abhängig

4. Blattgrünabhängigkeit

Vorversuch: hält man eine Pflanze längere Zeit im Dunkeln, so werden die grünen Teile gelblichweiß.

① Ein blühendes Alpenveilchen wird für einige Zeit in einem Glasgefäß unter Wasser belichtet; man setzt farbloses Indigocarmin zu.

E: Blaufärbung erfolgt nur an den Blättern, nicht an Blüten, Stengeln und Wurzeln

J: Sauerstoffentwicklung findet nur an grünen Pflanzenteilen statt

FOLIE 4

Zusammenfassung

Die Pflanzen entwickeln bei der Photosynthese
Sauerstoff.

Dieser kann nachgewiesen werden durch:

- Gasblasenversuch
- Glühspanprobe
- Farbreaktion mit Indigocarmin

Diese Sauerstoffentwicklung ist bei genügender Versorgung mit Wasser und Wärme abhängig von:

- Lichtintensität
- Kohlendioxidgehalt
- Blattgrün

Abb. 9: Folie 1 - 4 für den Tageslichtprojektor, verwendet im lehrergeleiteten Unterricht ohne Film (Methode O) in den 12. Klassen

PHOTOSYNTHESE

^{O₂-Entwicklung}
in Abhängigkeit von verschiedenen Faktoren

1. Nachweis der O₂-Entwicklung

günstig an Wasserpflanzen

① Wasserpest (Elodea) wird belichtet

Gasblasenversuch

E: es entwickeln sich Gasblasen

J: die genaue Natur des Gases ist nicht feststellbar

Um die Art des entstehenden Gases nachzuweisen muß eine Nachweisreaktion durchgeführt werden.

② Die Gasblasen werden aufgefangen und über längere Zeit gesammelt.

Glimmspanprobe

E: Glimmspan fängt an zu brennen
Zigarette glüht hell auf

J: es handelt sich um Sauerstoff

Nachteil: es werden rel. große Substanzmengen benötigt: lange Zeitdauer

③ reduziertes Indigocarmin (farblos) wird ins Wasser zu den Wasserpflanzen gegeben.

Farbreaktionsnachweis

E: die entstehenden Gasblasen färben Indigocarmin blau (oxidierte Form)

J: es handelt sich um Sauerstoff

Ist diese Sauerstoffentwicklung von außen beeinflussbar?

FOLIE 2

2. Lichtabhängigkeit

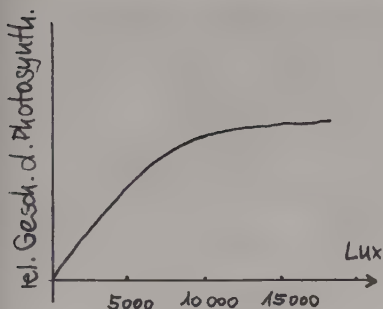
⑤ 3 verschiedene Glasgefäße mit 3 gleich großen Wasserpestpflanzen

- ① helles Licht
- ② schwaches Licht
- ③ kein Licht

E :
1 : viele O_2 -Blasen
2 : wenige O_2 -Blasen
3 : keine Gasblasen

J : Die O_2 -Entwicklung ist von der Lichtintensität abhängig.

Genaue quantitative Abhängigkeit von der O_2 -Entwicklung (von der Lichtstärke):



J :

- ohne Licht keine Photosynthese
- zwischen 3000 und 10000 Lux steiler Anstieg der Photosyntheserate (O_2 -Entwicklung)
- über 10000 Lux keine Steigerung der Photosyntheserate durch höhere Lichtintensität (Sättigungswert)

FOLIE 3

3. CO₂-Abhängigkeit

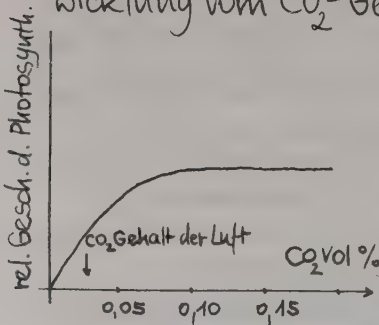
⑤ 3 verschiedene Glasgefäße mit 3 gleich großen Wasserpestpflanzen

- ① abgekochtes Wasser (CO₂-arm)
- ② Leitungswasser (mittlerer CO₂-Gehalt)
- ③ CO₂-angereichertes Wasser (Sprudel)

E : 1: keine O₂-Entwicklung
2: geringe O₂-Entwicklung
3: starke O₂-Entwicklung

J : Die O₂-Entwicklung ist vom CO₂-Gehalt der Umgebung abhängig.

Die genaue quantitative Abhängigkeit der O₂-Entwicklung vom CO₂-Gehalt des umgebenden Gasaums



J: - bei Erhöhung der CO₂-Konz. von 0,01 auf ca. 0,05 Vol % steiler Anstieg der Photosyntheserate
- über 0,10 Vol % CO₂ wird keine Steigerung mehr erreicht (Sättigungswert)

Die CO₂-Konzentration der normalen Atemluft hat mit 0,03 Vol % nicht den optimalen Wert.
"CO₂-Düngung" in Treibhäusern möglich.

FOLIE 4

4. Blattgrünabhängigkeit

Hinweis: Pflanzen färben, wenn sie länger im Dunkeln stehen, die grünen Pflanzenteile gelb.

- Ⓥ Ein blühendes Alpenveilchen wird für einige Zeit in einem Glasgefäß unter Wasser belichtet; man setzt reduziertes Indigocarmin zu.

E: nur an den grünen Blättern färbt sich Indigocarmin blau; an Blüten, Stengeln und Wurzeln bleibt es farblos.

J: O_2 -Entwicklung findet nur an grünen Pflanzenteilen statt.

Zusammenfassung

Die O_2 -Entwicklung bei der Photosynthese ist abhängig von der Lichtintensität, dem CO_2 -Gehalt der Umgebung und dem Vorhandensein von Blattgrün. Es besteht jeweils eine direkte Proportionalität, bis ein Sättigungswert erreicht ist.

Abb. 10: Folie für den Tageslichtprojektor, verwendet im lehrergeleiteten Unterricht mit Film (Methode F) in den 7. Klassen

PHOTOSYNTHESE

Sauerstoffentwicklung in Abhängigkeit von verschiedenen Faktoren

1. Nachweis der Sauerstoffentwicklung

Gasblasenversuch

Glimmspanprobe

Farbreaktion mit Indigocarmin

2. Lichtabhängigkeit

Lichtintensitätsabhängigkeitsversuch

- ohne Licht: keine Photosynthese
- schwaches Licht: wenig Photosynthese
- helles Licht: viel Photosynthese

3. Kohlendioxidabhängigkeit

Kohlendioxidabhängigkeitsversuch

- ohne Kohlendioxid: keine Photosynthese
- wenig Kohlendioxid: wenig Photosynthese
- viel Kohlendioxid: viel Photosynthese

4. Blattgrünabhängigkeit

Alpenveilchenversuch

nur die grünen Pflanzenteile erzeugen Sauerstoff

Abb. 11: Folie für den Tageslichtprojektor, verwendet im lehrergeleiteten Unterricht mit Film (Methode F) in den 12. Klassen

PHOTOSYNTHESE

O₂-ENTWICKLUNG

in Abhängigkeit von verschiedenen Faktoren

1. Nachweis der O₂-Entwicklung

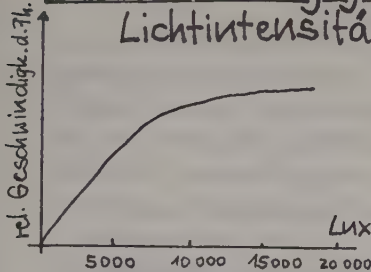
Gasblasenversuch

Glimmspanprobe

Farbreaktion mit Indigocarmin

2. Lichtabhängigkeit

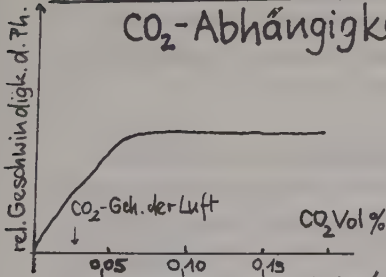
Lichtintensitätsabhängigkeitsversuch



- ohne Licht keine Photosynthese
- starker Anstieg der Photosyntheserate bei Erhöhung der Lichtintensität zwischen 3000 u. 10000 Lux
- über 10000 Lux keine Steigerung durch Erhöhung der Lichtintensität (Sättigungswert)

3. Kohlendioxidabhängigkeit

CO₂-Abhängigkeitsversuch



- bei einer Erhöhung von 0,01 auf 0,05 Vol % CO₂ steiler Anstieg der Photosyntheserate
- über 0,10 Vol % CO₂ keine Steigerung mehr möglich (Sättigungswert)

4. Blattgrünabhängigkeit

Alpenveilchenversuch

3.3. Ablauf und Inhalt der Tests

Insgesamt wurden drei Tests durchgeführt, deren Inhalt völlig identisch war. Lediglich dem jeweiligen ersten Test (Vortest V) wurde ein Deckblatt beigegeben (siehe Anl. 7 u.9), auf dem die Schüler aufgefordert wurden, den Test trotz des noch nicht behandelten Stoffes sorgfältig auszufüllen. Dieser erste Test sollte 10 - 15 Minuten dauern, gründlich das Vorwissen über das Stoffgebiet Photosynthese erfassen, aber nicht zu viele "Zufallstreffer" bei den Auswahlfragen bzw. Ergebnisse, die auf reinem "Raten" beruhen, aufweisen.

Sofort im Anschluß an diesen Vortest wurde der erste Teil des Unterrichts durchgeführt (lehrergeleitet bzw. programmiert) (siehe Zeitplan Abb. 12).

Der zweite Test (Haupttest H) fand jeweils unmittelbar im Anschluß an die übrigen Unterrichtseinheiten statt, so daß durch Hausaufgaben, Nachlesen im Buch u.ä. möglichst keine zusätzlichen Erkenntnisse erworben werden konnten. Die Lehrer hatten die Anweisung, diesen Test als bewerteten Schultest anzukündigen. Dadurch sollte ein allzu spielerischer Umgang mit dem Test bzw. Flüchtigkeitsfehler vermieden werden. Dies gilt vor allem für die 12. Klassen (18jährige, Kollegstufe), die im Hinblick auf den NC oft notenorientiert arbeiten und den Test sonst evtl. "nur als Versuch" eingestuft hätten.

Der dritte Test (Behaltenstest = Nachtest N) sollte nach vier Wochen durchgeführt werden. Ein kürzerer Zeitintervall entspräche nicht dem, was man als "Behalten" bezeichnen kann. Die Problematik des Zeitpunkts und der Aussagekraft des Behaltenstests wird bei Loewe ausführlich behandelt. (Loewe 1983, S. 44/45) Danach ist die Zeit in der dritten bis sechsten Woche nach dem Haupttest ideal.

Vor allem aus schulorganisatorischen Gründen variieren die Zeitabstände, in denen die Nachtests tatsächlich durchgeführt werden, zwischen vier Wochen und (bei wenigen) drei Monaten.

Einige Lehrer waren auch nach mehrmaliger Aufforderung nicht bereit, den Nachtest durchzuführen. Eine Begründung war die, daß der Lehrstoff inzwischen nochmal in anderem Zusammenhang besprochen worden war, die andere, daß keine Zeit mehr zur Verfügung stehe (Lehrplannerfüllung; für die beiden ersten Tests war schon viel Zeit aufgewendet worden). Dazu kommt noch, daß sich die Zahl der Schüler, die an allen drei Tests teilnahmen, gegenüber der, die an den ersten beiden teilgenommen hatten, deutlich verringerte (wegen Krankheit, Schulveranstaltungen usw.).

Auf die Problematik des Behaltenstests wird in Kap. 3.5. nochmal eingegangen.

Die Tests verliefen also nach folgendem Schema:

Identische Testfragen bei

- V (Vortest) : zum Erfassen des Vorwissens,
H (Haupttest) : zum Erfassen des Lernerfolgs mit lehrergeleitetem bzw. programmiertem Unterricht,
N (Nachtest) : zum Erfassen des Behaltens nach vier bis sechs Wochen.

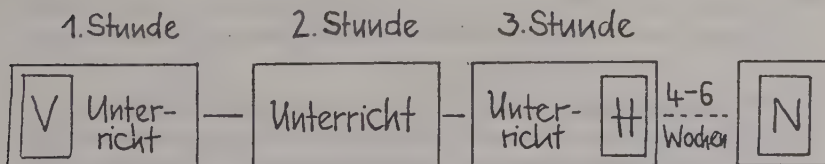


Abb. 12: Zeitplan der Tests und Eingliederung in den Unterricht

Der Inhalt der Testfragen kann ausschließlich kognitiven Lernzielen zugeordnet werden.

Damit entspricht der Test Leistungserhebungen, wie sie im schulischen Bereich überwiegend durchgeführt werden. (siehe Anl. 7 - 10) Es wurde genau darauf geachtet, daß die programmiert unterrichteten Schüler nicht durch bestimmte Formulierungen bei der Beantwortung der Fragen bevorzugt wurden. Grundlage für den Inhalt der Fragen war einerseits der Inhalt des vorliegenden Lernprogramms und andererseits der Lehrplan für die 7. bzw. 12. Klassen.

Ihr Ergebnis könnte also mit dem, was man gemeinhin als "Schulerfolg" bezeichnet, verglichen werden.

Der Schwierigkeitsgrad der Fragen erstreckte sich von - reiner Reproduktion (bei den 7. Klassen Frage 2. und 5.; bei den 12. Klassen Frage 1. und 11.) - über Reorganisation bis zu Transferfragen (bei den 7. Klassen Frage 10.; bei den 12. Klassen Frage 7., 8. und 12.).

Als Testform wurde in den 7. Klassen ein Multiple-Choice Verfahren angewendet. Der Vorteil liegt darin, daß vor allem bei jüngeren Schülern dadurch die Zeit eher konstant gehalten werden konnte (s. dazu Stöhr 1981, S. 51) und die Auswertung eindeutiger ist als bei frei formulierten Antworten.

Um "Zufallstreffer" möglichst gering zu halten, erhielten die Schüler die Information, daß alles falsch, alles richtig, eine, zwei oder mehr Antworten richtig sein könnten.

In den 12. Klassen enthält der Test überwiegend frei zu formulierende Antworten und nur wenige Multiple-Choice Fragen (s. dazu Zöllner 1971, S. 12). Diese Testart war dem größeren Vorwissen und Alter der Schüler angepaßt. Um nun bei der Auswertung einen völlig gleichmäßigen Grundmaßstab anzulegen, wertete der Versuchsleiter sämtliche Tests selbst aus.

Die Fragen waren so klar gestellt, daß es bei der Bewertung kaum Zweifelsfälle mit frei formulierten Fragen gab.

Da bei den Multiple-Choice Fragen darauf geachtet worden war, daß jede Aussage wahrscheinlich erschien, ergab sich die maximale Punktzahl aus der Anzahl der Testfragen.

Zur Ermittlung der Testreliabilität wurde nach der Testhalbierungsmethode (Lienert 1969, S. 219) verfahren. Dabei erschien in diesem Fall die "Halbierung aufgrund der Analyse-
daten" am geeignetsten. Dafür wurde der Test in zwei Hälften mit annähernd gleichem Schwierigkeitsgrad der Fragen geteilt. Um dabei jeweils die gleiche maximal erreichbare Punktzahl zu erhalten, wurde bei den 7. Klassen die Frage 8 und bei den 12. Klassen die Frage 3 nicht berücksichtigt. Die so für jeden Schüler ermittelten Punktwerte pro Testhälfte wurden summiert und miteinander korreliert nach der Formel (Heller, Rosemann 1981, S. 127)

$$r_{xy} = \frac{N \sum xy - (\sum x)(\sum y)}{\sqrt{[N \sum x^2 - (\sum x)^2][N \sum y^2 - (\sum y)^2]}}$$

r = Produkt-Moment-Korrelationskoeffizient
N = Stichprobengröße (Zahl der Meßwertpaare)
x, y = Testwertsummen der 1., 2. Testhälfte

Aus der so ermittelten Korrelation der ersten zur zweiten Testhälfte kann mit der von SPEARMAN-BROWN entwickelten Formel die Konsistenz des ganzen Tests (r_{tt}) ermittelt werden.

Diese Formel lautet (Lienert 1969, S. 221)

$$r_{tt} = \frac{2 r_{12}}{1 + r_{12}} \quad r_{12} = r_{xy}$$

Die Überprüfung erfolgte bei den 7. und 12. Klassen an den mit der Methode P unterrichteten Schülern. Dabei ergaben sich folgende Werte:

		Vortest	Haupttest	Nachtest
7. Klasse	r_{tt}	0,554	0,533	0,848
12. Klasse	r_{tt}	0,523	0,545	0,516

Diese Werte erfüllen die Anforderungen an die Reliabilität für die Einschätzung von Gruppendifferenzen (nach Wieczerkowski und Quintanilla 1978, S. 296).

Die Validierung der Testfragen erfolgte dadurch, daß vorher eine intensive Beratung mit mehreren erfahrenen Biologielehrern stattfand.

Die vom Versuchsleiter entworfenen Fragen wurden daraufhin überprüft, ob der im Programm bzw. lehrergeleiteten Unterricht enthaltene Lerninhalt durch die Formulierungen, den Inhalt und die Schwierigkeit der Fragen in angemessener Form abgefragt wird.

Jeder am Versuch beteiligte Lehrer war zusätzlich aufgefordert worden, nicht nur zum Inhalt und Ablauf des Unterrichts, sondern auch zur Angemessenheit der Testfragen Stellung zu nehmen.

Der fertige Test wurde Herrn Prof. Dr. Killermann zur Begutachtung vorgelegt.

Als Itemanalyse wurden die Fragen auf ihren Schwierigkeitsgrad hin (nach Zöllner 1971, S. 14) und auf ihre Trennschärfe (nach Lienert 1969, S. 93/94) überprüft nach folgenden Formeln:

$$\text{Schwierigkeitsgrad in \%} = \frac{\text{Anzahl der richtigen Lösungen einer Aufgabe}}{\text{Gesamtzahl der am Test beteiligten Schüler}}$$

$$\text{Trennschärfe : } r_{it} = \frac{\bar{x}_R - \bar{x}}{s_x} \sqrt{\frac{p}{q}} ; p = \frac{N_R}{N} ; q = 1 - p$$

$\bar{x}$ = arithmetisches Mittel aller Rohwerte

$\bar{x}_R$ = arithmetisches Mittel aller Testrohwerte derjenigen Probanden, die die Aufgabe richtig beantwortet haben

s_x = Standardabweichung der Testrohwerte aller Probanden

N = Anzahl der Probanden

N_R = Anzahl derer, die die Aufgabe richtig beantwortet haben

(zu den Ergebnissen der Itemanalyse siehe Anhang, Anlagen 11 u. 12)

Daraufhin wurden bei der endgültigen Auswertung zwei Fragen bei der 7. Klasse (Frage 1. und 3.) und vier Fragen bei der 12. Klasse (Frage 1., 2., 6. und 13.) nicht berücksichtigt. Bei diesen eliminierten Fragen handelt es sich überwiegend um "zu leichte", also von über 90% der Schüler richtig beantwortete Fragen.

Am Gesamtergebnis der Untersuchung änderte sich durch das Eliminieren der erwähnten Fragen allerdings nichts. Die Auswertung wurde sowohl mit allen als auch unter Nichtberücksichtigung der o.g. Fragen durchgeführt.

3.4. Vergleichbarkeit der Versuchgruppen

Weil für die Untersuchung Gymnasialklassen bzw. Kollegstufenkurse vorgesehen waren, mußte zunächst gezeigt werden, daß sie in ihrem Leistungsniveau vergleichbar sind. Dafür wurden für die 7. Klassen die Durchschnittsnoten der wichtigsten Schulnoten, nämlich Deutsch, Mathematik und 1. Fremdsprache verwendet. (nach Ingenkamp: "... eine gewisse Aussagezuverlässigkeit wird für die Zeugnisdurchschnittsnote bejaht ..." (Ingenkamp 1967)).

Bei den 12. Klassen war dies infolge der verschiedenen Gewichtung dieser Noten nicht möglich (Gliederung in Leistungs- und Grundkurse), so daß die Biologieabschlußnote des 1. Semesters herangezogen wurde.

Bei den 7. und 12. Klassen erfolgte danach eine Überprüfung auf Normalverteilung nach dem Chi-Quadrat-Test (nach Heller-Rosemann 1981, S. 220 ff.) und ein t-Test auf signifikante Mittelwertsunterschiede für unabhängig gewonnene Stichproben homogener Varianz (Heller-Rosemann 1981, S. 192).

Dabei ergaben sich eine Normalverteilung und keinerlei signifikante Mittelwertsdifferenzen zwischen den mit den verschiedenen Methoden unterrichteten Schülergruppen.

TEILNEHMER

	ANZAHL DER KLASSEN	ALTER DER SCHÜLER	ANZAHL DER SCHÜLER	GEWERTETE SCHÜLER
	11	13 JÄHRIGE 7. KLASSE	330	304
	11	18 JÄHRIGE 12. KLASSE	234	190
GESAMT:	22		564	494

Abb. 13: Anzahl der Klassen und Schüler, die insgesamt teilnahmen ("gewertete Schüler" : Gesamtteilnehmerzahl abzüglich der Zahl derer, die an Haupt- oder Vortest nicht teilnahmen)

7. VORZENSUR SPANNE: 1.0 - 6.0 (NOTENSKALA)

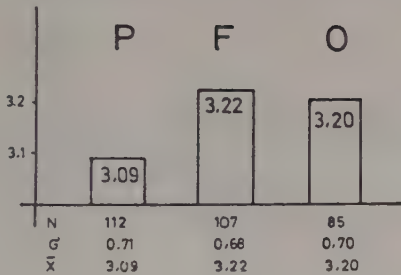


Abb. 14: Durchschnittsnoten aus Deutsch, Mathematik und 1. Fremdsprache bei den mit verschiedenen Methoden unterrichteten Gruppen in der 7. Klasse

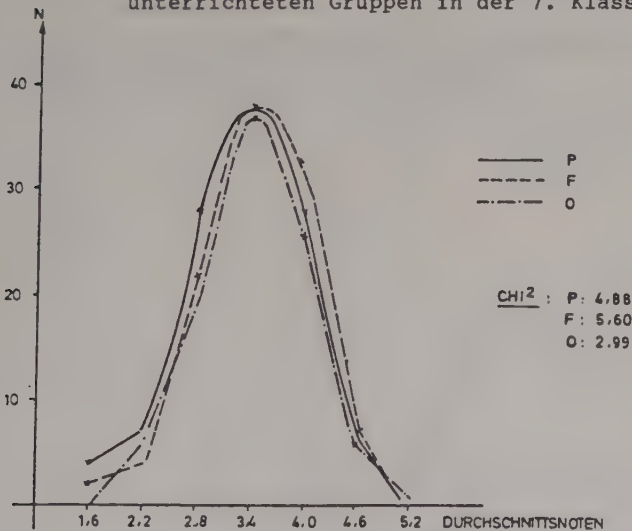


Abb. 15: Verteilung der Durchschnittsnoten in der 7. Klasse

$$t_{P/O} = 1,10 ; t_{P/F} = 1,37 ; t_{F/O} = 0,16$$

12. VORZENSUR

SPANNE: 0-15 (PUNKTESKALA)

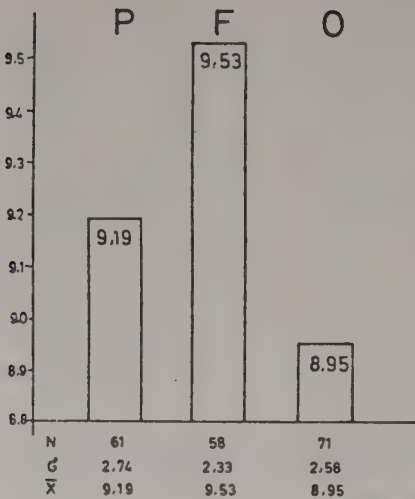


Abb. 16: Durchschnittspunktzahlen der Biologienoten des 1. Semesters in den 12. Klassen bei den mit verschiedenen Methoden unterrichteten Gruppen

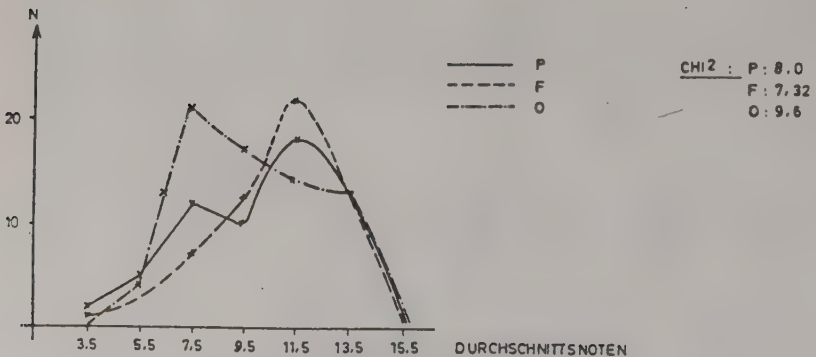


Abb. 17: Verteilung der Durchschnittspunktzahlen in der 12. Klasse

$$t_{P/O} = 0,51 ; \quad t_{P/F} = 1,12 ; \quad t_{F/O} = 1,31$$

Die Teilnehmer an der Untersuchung waren keine "Freiwilligen" oder besonders gut geführte Versuchsschulen, sondern durch persönliche Verbindungen ausgesuchte Gruppen (Bekannte, Studienkollegen und deren Kollegen an den Schulen).

Folgende Schulen und Lehrer waren beteiligt:

Schule:	Lehrer: Abkürzungen
Adolf-Weber-Gymnasium, München	Ch, Lc
Elsa-Brandstroem-Gymnasium, München	Al
Gymnasium Gilching	Su, We, Ba
Gymnasium Starnberg	Ni, Kn, Sc
Luisengymnasium, München	Mu, Lo, Pl
Wittelsbacher Gymnasium, München	Za, Di, Bi

Es handelt sich bei den Schulen also um Großstadtschulen bzw. Schulen mit Schülern aus vergleichbarer sozialer Herkunft aus dem direkten Einzugsbereich der Großstadt (S-Bahn-Bereich).

Die Lehrer waren ausnahmslos voll ausgebildete, erfahrene Gymnasiallehrer.

Zum Einfluß von Alter und sozialer Herkunft der Schüler sowie zur Qualifikation der Lehrer siehe auch Staeck 1980 (S. 129 - 135).

3.5. Ergebnisse

Auf der Basis der in den Tests erreichten Punktzahlen wurde zunächst auf Normalverteilung überprüft und bei jeder einzelnen Klasse sowie bei den mit der gleichen Methode unterrichteten Gruppen ein Chi-Quadrat-Test nach Heller-Rosemann 1981 (S. 220 ff.) durchgeführt.

Danach erfolgte ein t-Test nach Student für unabhängig gewonnene Stichproben bei homogener Varianz (a.a.O., S. 192) auf signifikante Mittelwertsdifferenzen. Soweit sich nach dem F-Test nach R.A. Fischer (S. 197) heterogene Varianz ergab, wurde der t-Test für Stichproben mit heterogenen Varianzen angewendet (a.a.O. S. 196).

Für die Auswertung der Daten wurde ein Computer der Firma Olivetti verwendet. Zur Eingabe der Daten wurde ein Programm im BASIC entwickelt und ebenso für die Auswertung nach den o.g. Testverfahren.

Die Ergebnisse auf den Seiten 95 bis 116 sind nach folgendem Schema in Säulendiagrammen wiedergegeben:

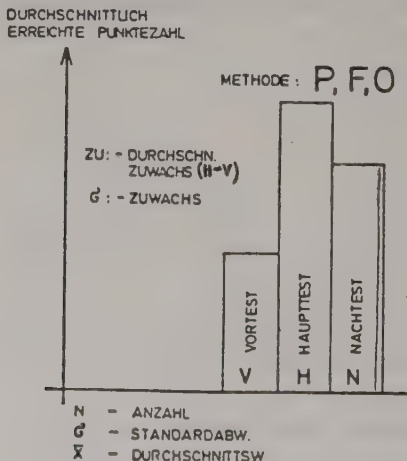


Abb. 18:
Übersichts-
schema der
Säulendia-
gramme auf
den fol-
genden
Seiten

UMRANDETE t-Werte zeigen signifikante Mittelwertsdifferenzen (5% Niveau)

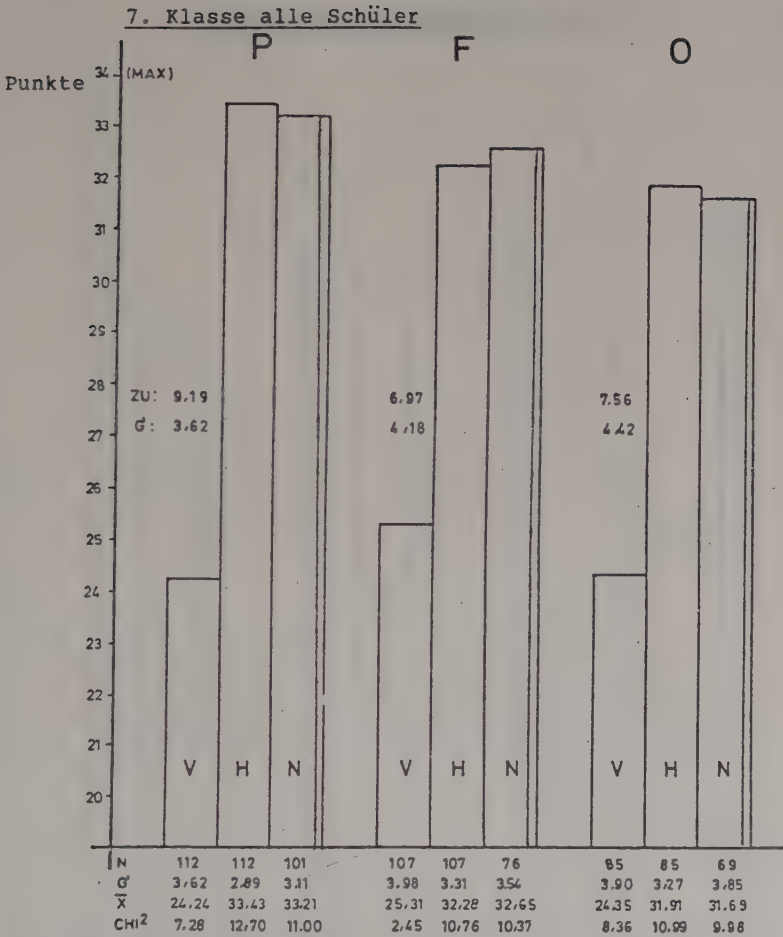


Abb. 19: Durchschnittswerte der erreichten Punktzahlen in den 7. Klassen bei den verschiedenen Methoden im Vor-, Haupt- und Nachtest

	V	H	N	Zu
$t_{P/O}$	0,20	<u>3,43</u>	<u>2,82</u>	<u>2,82</u>
$t_{F/O}$	1,66	<u>0,76</u>	1,55	<u>0,94</u>
$t_{P/F}$	<u>2,07</u>	<u>2,72</u>	1,11	<u>4,18</u>

Ein Säulendiagramm über die Durchschnittswerte der erreichten Punktzahlen bei den einzelnen Klassen befindet sich im Anhang (Anlage 13).

7. Klasse weibliche Teilnehmer

Punkte

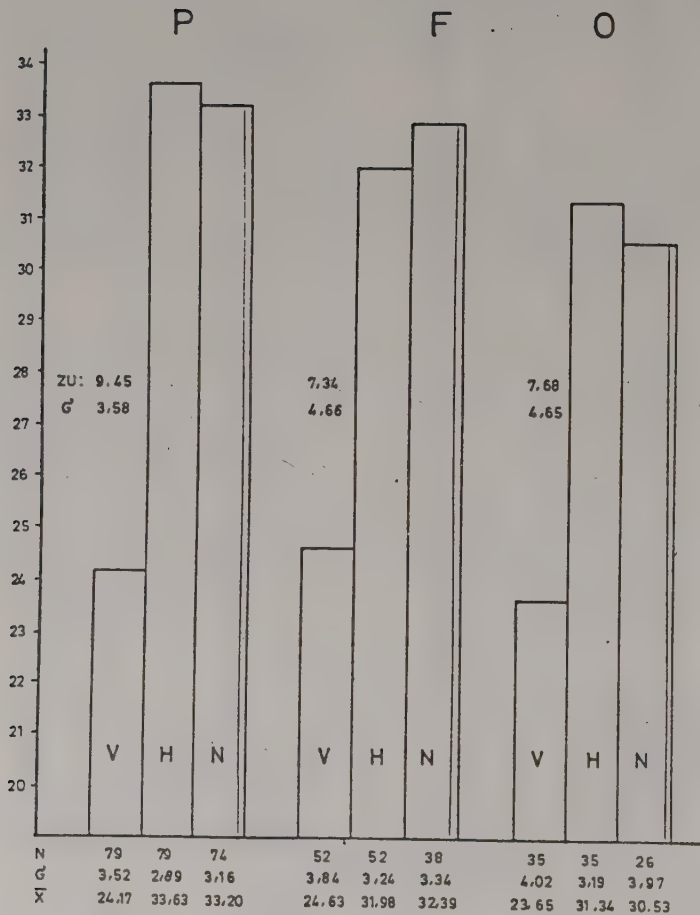


Abb. 20: Durchschnittswerte nur Mädchen

	V	H	N	Zu
t _{P/O}	0,68	3,74	3,42	2,19
t _{F/O}	1,36	0,89	2,52	0,33
t _{P/F}	0,70	3,02	0,47	2,89

7. Klasse männliche Teilnehmer

Punkte

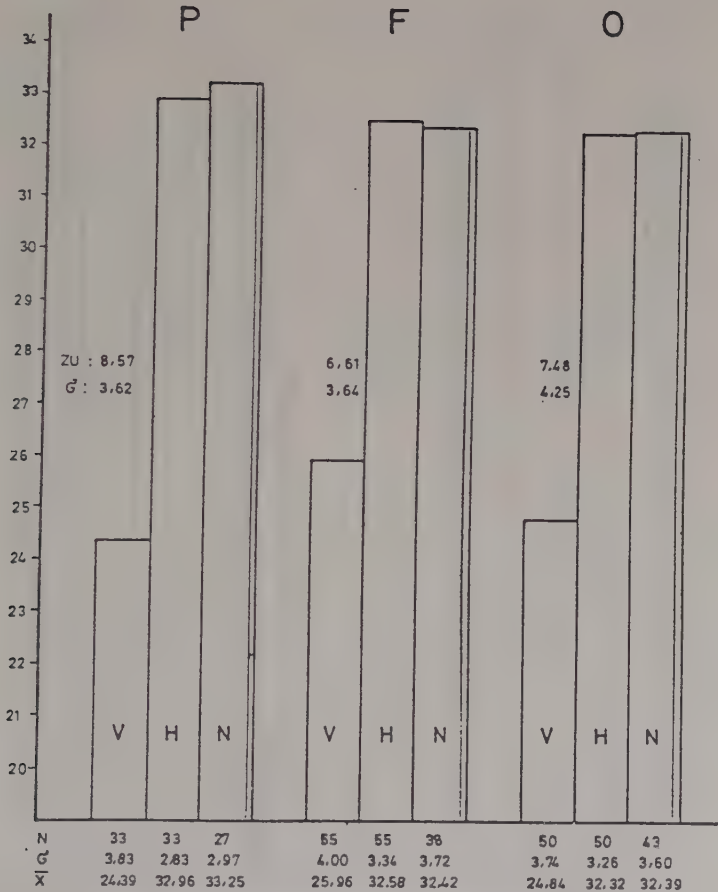


Abb. 21: Durchschnittswerte nur Buben

	V	H	N	Zu
$t_{P/O}$	0,52	0,91	1,02	1,19
$t_{F/O}$	1,46	0,39	0,03	1,11
$t_{P/F}$	1,79	0,54	0,94	2,42
t_P	0,29	1,11	0,07	1,17
t_F	1,73	0,93	0,57	0,89
t_O	1,38	1,35	1,97	0,20

7. Vorzensur 1.0 - 3.3

Punkte

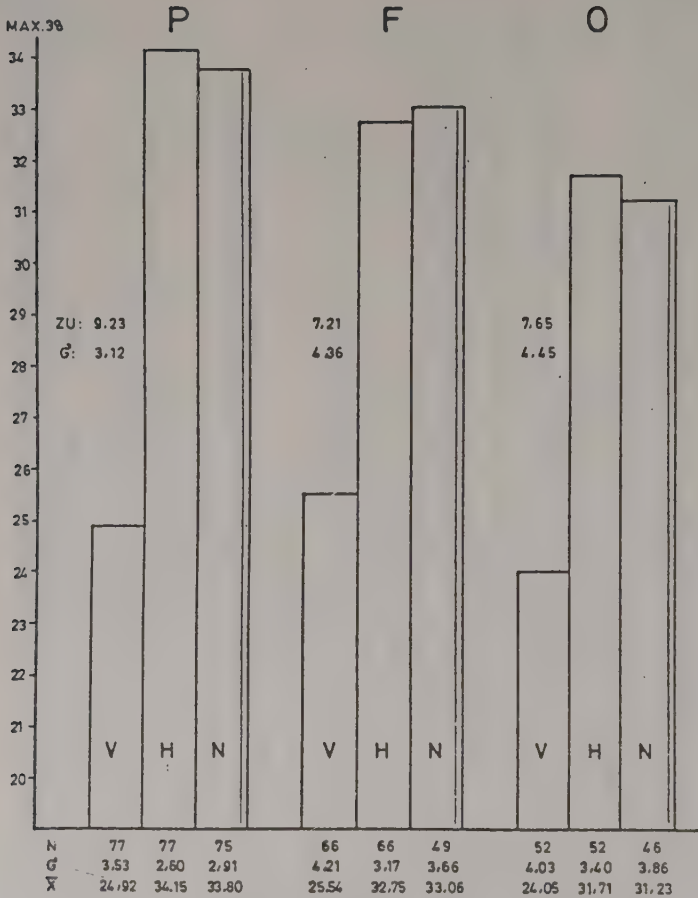


Abb. 22: Gut vorzensierte Schüler der 7. Klassen

	V	H	N	Zu
$t_{P/O}$	1,28	t_e 4,43 t_{th} 1,12	t_e 3,89 t_{th} 1,32	t_e 2,20 t_{th} 1,41
$t_{F/O}$	1,92	1,69	2,34	0,53
$t_{P/F}$	0,95	2,88	1,23	t_e 3,15 t_{th} 1,30

7. Vorzensur 3.5 - 5.5

Punkte

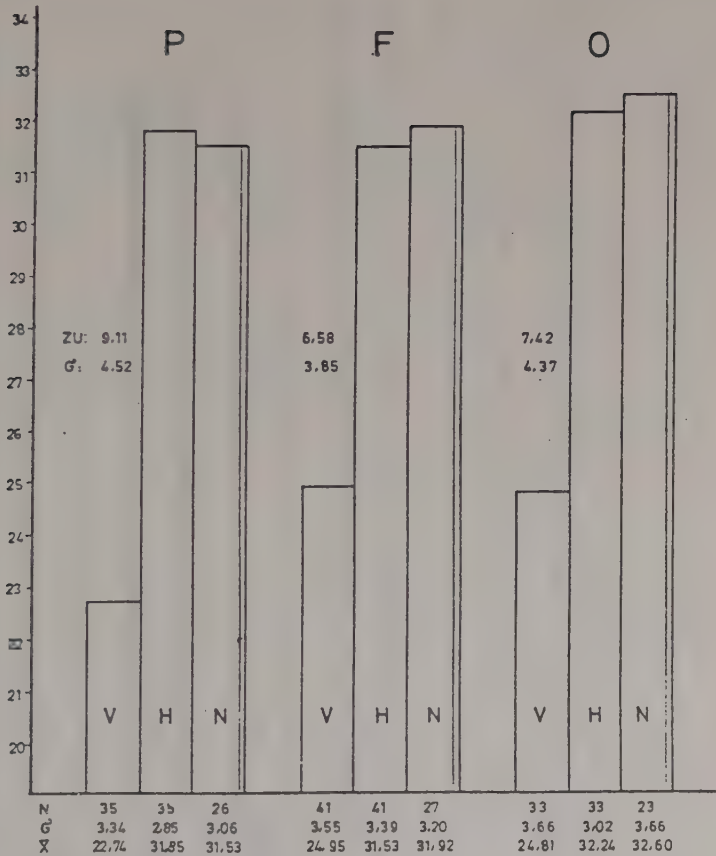


Abb. 23: Schlecht vorzensierte Schüler der 7. Klassen

	V	H	N	Zu
t _{P/O}	2,40	0,53	1,09	1,54
t _{F/O}	0,16	0,92	0,68	0,86
t _{P/F}	2,48	0,43	0,44	2,60
t _P	3,05	4,17	3,34	t _e 0,14
				t _{th} 1,73
t _F	0,74	1,86	1,33	0,75
t _O	0,86	0,72	1,39	0,23

1,0-3,3/
3,5-5,5

7. Vortest 26 - 35

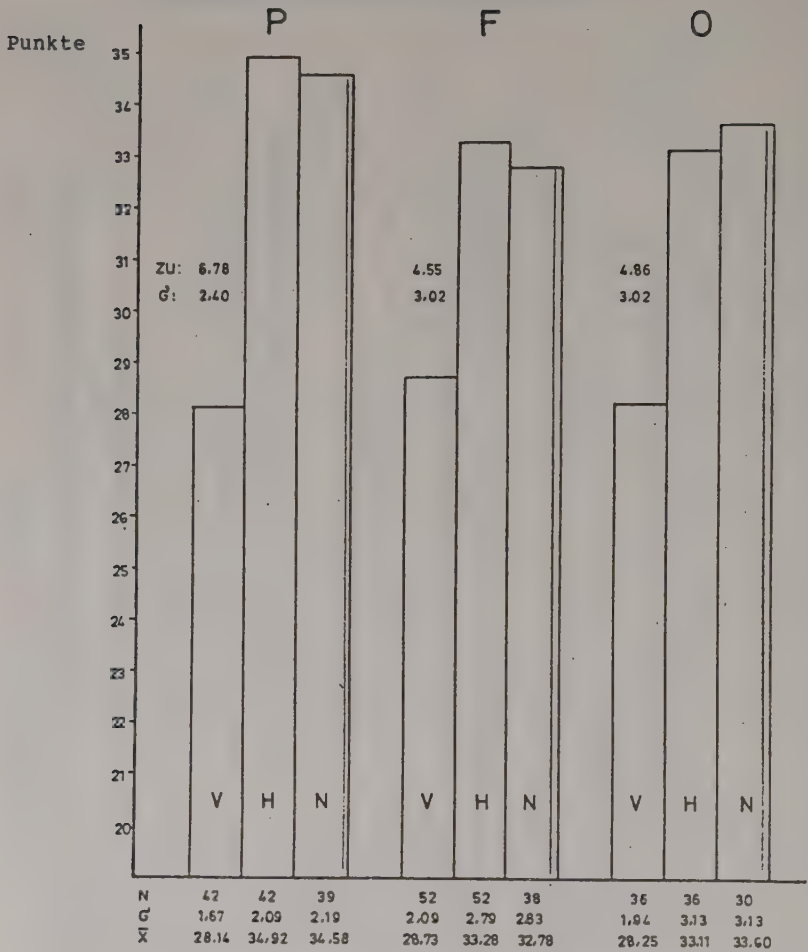


Abb. 24: Schüler mit hohem Vorwissen in den 7. Klassen

	V	H	N	Zu
$t_{P/O}$	0,26	t_e 2,93 t_{th} 1,25	t_e 1,44 t_{th} 1,38	3,08
$t_{F/O}$	1,07	0,26	1,19	0,46
$t_{P/F}$	1,47	3,12	3,08	3,85

7. Vortest 1 - 25

Punkte

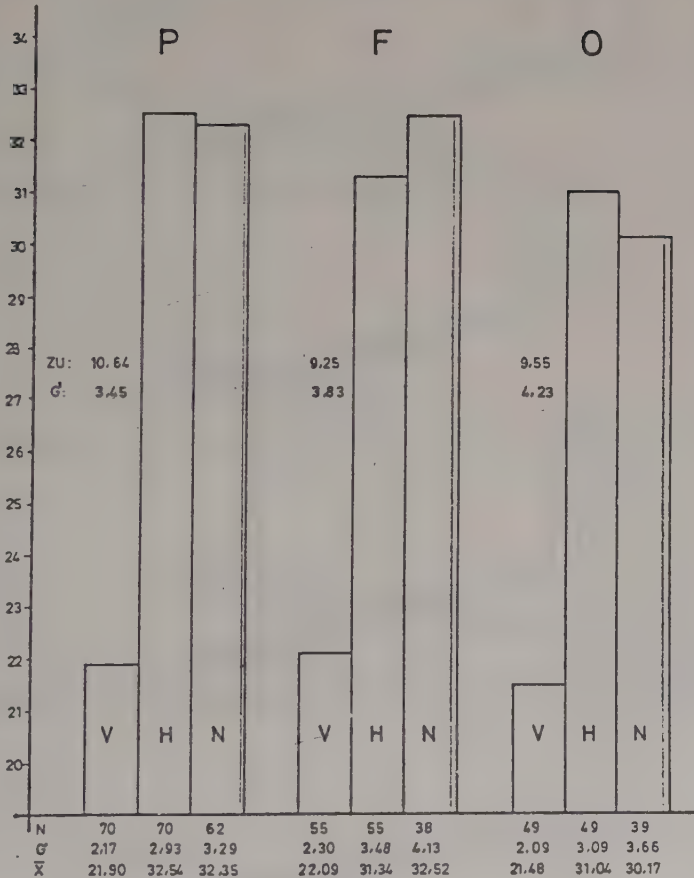
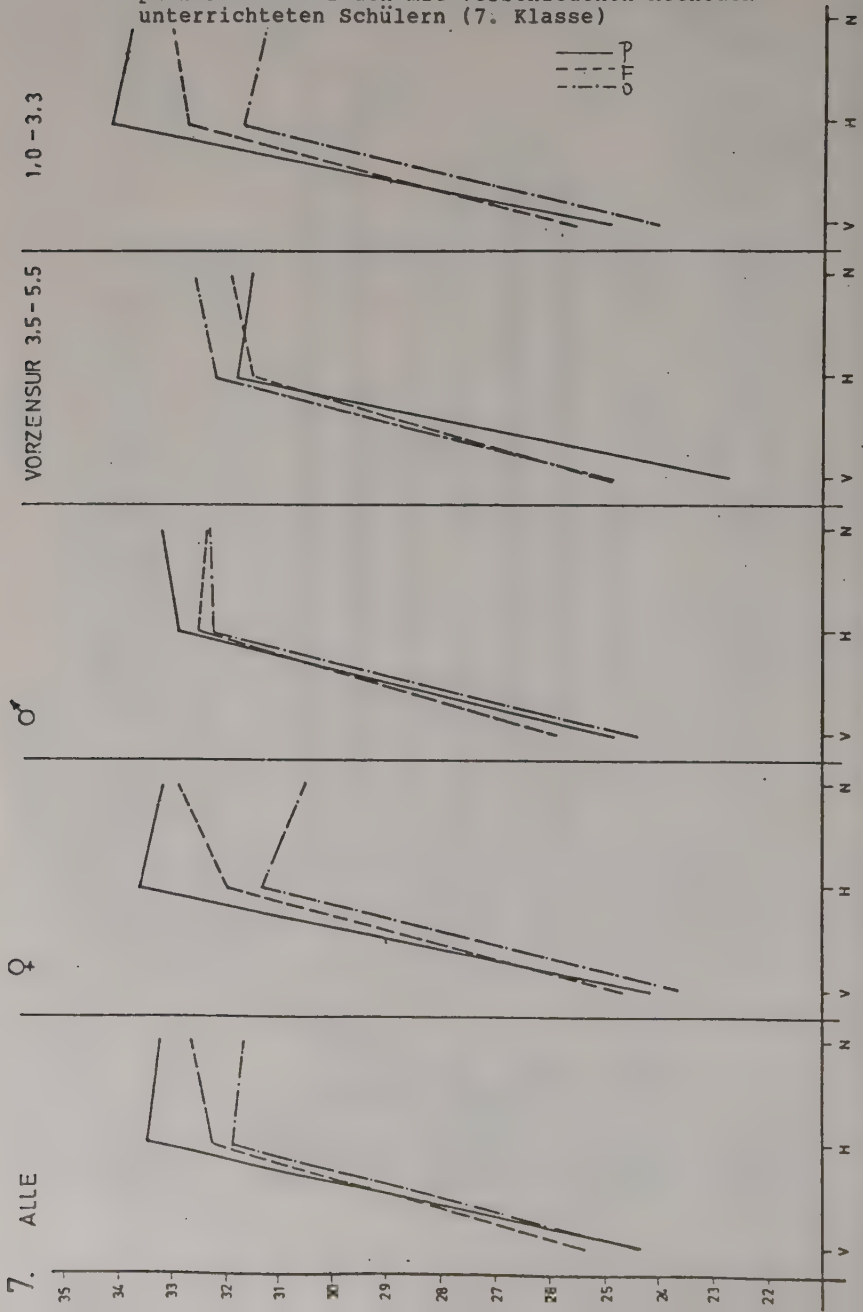


Abb. 25: Schüler mit niedrigem Vorwissen in der 7. Klasse

	V	H	N	Zu
t _{P/O}	1,04	2,66	3,07	1,53
t _{F/O}	1,39	0,45	2,60	0,37
t _{P/F}	0,46	2,07	0,22	2,11

Abb. 26: Vergleich der absoluten Werte der Durchschnittspunktzahlen bei den mit verschiedenen Methoden unterrichteten Schülern (7. Klasse)



VORZENSUR 4,6-5,5

1,0-1,9

VORTEST 1-25

26-35

♀ VORZENSUR 1,0-2,3

LOSHER

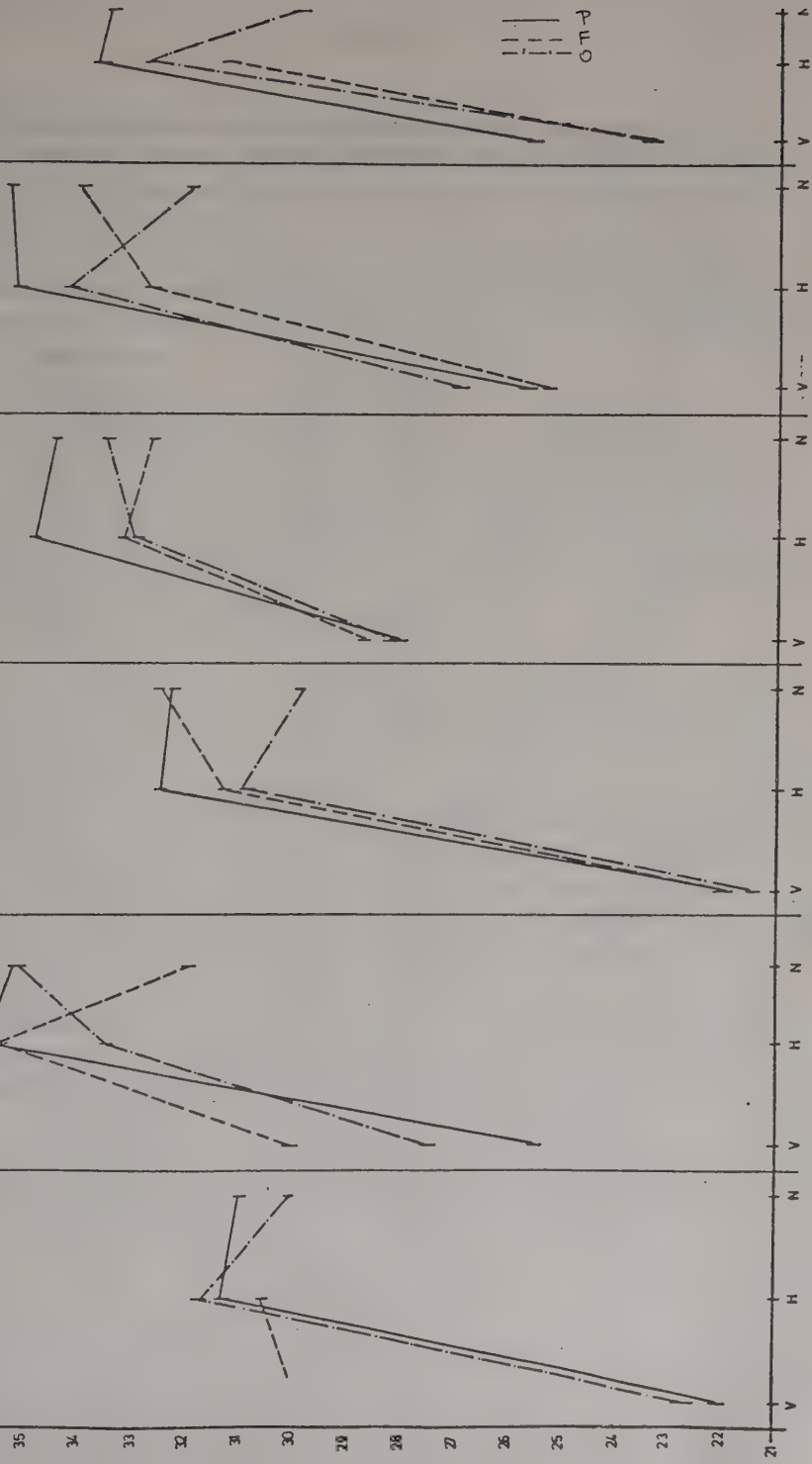
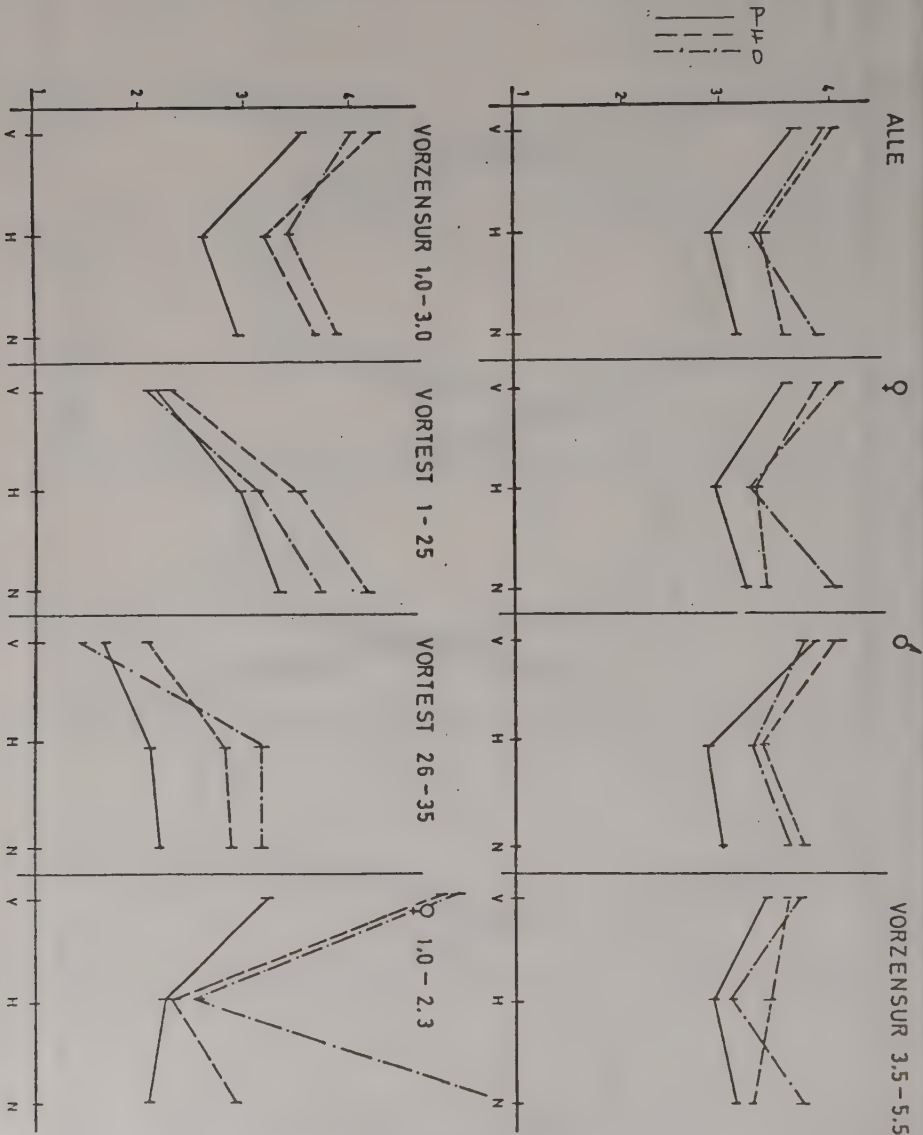


Abb. 27: Vergleich der σ -Werte bei den mit verschiedenen Methoden unterrichteten Gruppen in den 7. Klassen



Wie die Diagramme zeigen, wiesen die Vortestergebnisse, d. h. das Vorwissen über das im Unterricht behandelte Stoffgebiet, im allgemeinen keine signifikanten Unterschiede auf. Soweit es doch der Fall ist, wird eigens darauf verwiesen. Neben dem Lernzuwachs (Zu) wurde immer auch der absolute Lernerfolg (H) angegeben, weil bei teilweise hohem Vorwissen der Zuwachs nicht entsprechend groß ausfallen kann ("Deckeneffekt").

Der Ausagewert des Behaltenstests (N) ist nur begrenzt (siehe dazu auch Kap. 3.3).

Es kann nämlich nicht generell ausgeschlossen werden, daß einzelne Schüler nach dem Haupttest, der benotet und für den Schüler daher wichtig war, sich zusätzlich beim Lehrer über das Thema "Photosynthese" informierten. Aus pädagogischen Gründen konnte nicht mit Hinweis auf die Versuchssituation die Aussage verweigert werden.

Der zeitliche Abstand zum Haupttest war nicht bei allen Gruppen ganz gleich; er betrug vier bis max. 12 Wochen, lag allerdings nie unter vier Wochen, so daß es sich um einen echten Behaltenstest handelt.

Die Zahl der Störvariablen wie Gespräche mit Mitschülern oder Personen außerhalb der Schule, Nachlesen in Büchern u.a. nimmt mit der Zeit zu. Man kann aber davon ausgehen, daß dies in allen drei Versuchsgruppen gleichermaßen geschah, so daß die Gruppen untereinander vergleichbar sind. Das Ergebnis des Behaltenstests ist also nicht ganz so klar auf die unterschiedlichen Unterrichtsmethoden zurückzuführen wie das des Haupttests. Trotzdem gibt es einen Hinweis auf die Intensität, mit der in den verschiedenen Lehrmethoden der Stoff an die Schüler vermittelt wurde.

Signifikanz der Mittelwertsunterschiede wurde auf dem 5%-Niveau angenommen.

Für die 7. Klassen:

Absoluter Lernerfolg, Lernzuwachs (und Behaltensleistung) unterscheiden sich signifikant bei programmiertem und lehrergeleitetem Unterricht zugunsten der programmierten Methode.

Damit kann H_{1-0} für die 7. Klassen abgewiesen werden.

Kurzform: $P > 0$

Absoluter Lernerfolg, Lernzuwachs (und Behaltensleistung) unterscheiden sich nicht signifikant bei lehrergeleitetem Biologieunterricht mit und ohne Film. Bei dieser Art des Filmeinsatzes ergibt sich kein zusätzlicher Lernerfolg.

Absoluter Lernerfolg, Lernzuwachs (und Behaltensleistung) unterscheiden sich signifikant bei lehrergeleitetem Biologieunterricht mit Film und programmiertem Biologieunterricht.

Somit bestätigt auch dieses Ergebnis die Abweisung von H_{1-0} .

Kurzform: $P > F$

Aufgliederung nach verschiedenen, ausgewählten Teilnehmergruppen:

Mädchen

Die Überprüfung der Hypothesen nur bei den weiblichen Teilnehmern kommt zu dem gleichen Ergebnis wie die Gesamtuntersuchung. Der programmierte Unterricht führte zu besseren Ergebnissen als lehrergeleiteter Unterricht sowohl mit als auch ohne Filmeinsatz, während sich der absolute Lernerfolg und der Lernzuwachs bei lehrergeleitetem Unterricht mit und ohne Film nicht mehr als zufällig unterschieden.

$P > 0$	für absoluten Lernerfolg, Lernzuwachs (und Behaltensleistung)
$F = 0$	für absoluten Lernerfolg und Lernzuwachs ($F > 0$ für Behaltensleistung)
$P > F$	für absoluten Lernerfolg und Lernzuwachs ($P = F$ für Behaltensleistung)
	(Abb. 20)

Buben

Obwohl hier die Unterschiede nur im angegebenen Fall signifikant sind, ist der absolut erreichte Mittelwert im Haupttest bei P am höchsten. (Abb. 21)

$P = 0$	für absoluten Lernerfolg, Lernzuwachs (und Behaltensleistung)
$F = 0$	für absoluten Lernerfolg, Lernzuwachs (und Behaltensleistung)
$P > F$	für Lernzuwachs $P = F$ für absoluten Lernerfolg (und Behaltensleistung)

Bei den verschiedenen Methoden ergaben sich keine signifikanten Unterschiede zwischen Mädchen und Buben, die mit der gleichen Unterrichtsmethode unterrichtet wurden.

$$P_{\bar{Q}} = P_{\bar{Q}^*}; \quad F_{\bar{Q}} = F_{\bar{Q}^*}; \quad O_{\bar{Q}} = O_{\bar{Q}^*} \quad (\text{Abb. 21})$$

Schüler mit guten Vorzensuren

Das Ergebnis dieser Teilnehmergruppe entspricht dem der Gesamtuntersuchung der 7. Klassen und dem der Teilstichprobe der Mädchen. PU erweist sich auch hier dem lehrergeleiteten Unterricht als überlegen. (Abb. 22)

$P_g > O_g$	für absoluten Lernerfolg, Lernzuwachs (und Behaltensleistung)
$F_g = O_g$	für absoluten Lernerfolg und Lernzuwachs ($F_g > O_g$ für die Behaltensleistung)
$P_g > F_g$	für absoluten Lernerfolg und Lernzuwachs ($P_g = F_g$ für die Behaltensleistung)

Schüler mit schlechten Vorzensuren

Der Lernerfolg ist bei schlechten Schülern weniger stark methodenabhängig. (Abb. 23)

$P_s = O_s$	für absoluten Lernerfolg, Lernzuwachs (und Behaltensleistung)
$F_s = O_s$	für absoluten Lernerfolg, Lernzuwachs (und Behaltensleistung)
$P_s > F_s$	für Lernzuwachs $P_s = F_s$ für absoluten Lernerfolg und Lernzuwachs

Beim Vergleich P/O und P/F unterscheiden sich die Vortest-
ergebnisse signifikant, was bei dieser Schülergruppe wahr-
scheinlich auf "Zufallstreffer" zurückzuführen ist.

Für extrem gute bzw. extrem schlechte Schüler konnte kein
t-Wert errechnet werden wegen der kleinen Probandenzahl und
daher fehlender Normalverteilung.

Vergleicht man die Werte für den absoluten Lernerfolg, so
ergibt sich für gute Schüler bei der Methode P, für
schlechte Schüler bei O der höchste absolute Werte. (Anla-
gen 14 u. 15)

Ein Vergleich guter und schlechter Schüler bei gleicher
Lehrmethode ergibt:

$P_g > P_s$	für absoluten Lernerfolg (und Behaltens- leistung); $P = P$ für Lernzuwachs
$F_g = F_s$	für absoluten Lernerfolg, Lernzuwachs (und Behaltensleistung)
$O_g = O_s$	für absoluten Lernerfolg, Lernzuwachs (und Behaltensleistung)

Danach kann die Vermutung nicht bestätigt werden, daß schlechte Schüler besonders gut mit PU lernen. Gute, motivierte, konzentrationsfähige Schüler erlangen mit der Methode P einen signifikanten höheren Lernerfolg.

Schüler mit hohem Vorwissen

Auch bei Schülern mit hohem Vorwissen wird die Gesamtten-
denz bestätigt. (Abb. 24)

$P_h > O_h$	für absoluten Lernerfolg, Lernzuwachs (und Behaltensleistung)
$F_h = O_h$	für absoluten Lernerfolg, Lernzuwachs (und Behaltensleistung)
$P_h > F_h$	für absoluten Lernerfolg, Lernzuwachs (und Behaltensleistung)

Schüler mit niedrigem Vorwissen

Im wesentlichen liegt auch hier das der Gesamtuntersuchung
entsprechende Ergebnis vor. (Abb. 25)

$P_n > O_n$	für absoluten Lernerfolg, (und Behal- tensleistung)
$P_n = O_n$	für den Lernzuwachs
$F_n = O_n$	für absoluten Lernerfolg und Lernzuwachs ($F_n > O_n$ für die Behaltensleistung)
$P_n > F_n$	für absoluten Lernerfolg und Lernzuwachs ($P_n = F_n$ für die Behaltensleistung)

Da PU bei Mädchen und gut vorzensierten Schülern zu beson-
ders guten Ergebnissen führte, wurden gut vorzensierte Mäd-
chen ausgewählt. Der absolute Wert der Durchschnittspunkt-
zahl ist auch hier bei der Methode P am höchsten. (Anlage
16)

Wählt man die drei Klassen aus, bei denen der gleiche Leh-
rer den Unterricht durchführte bzw. den PU betreute, so er-
gibt sich auch hier der höchste absolute Wert bei P.
(Anlage 17)

Bei der Auswertung fällt außerdem auf, daß die Standardabweichung bei allen Schülergruppen mit der Methode P am niedrigsten liegt. (siehe Abb. 27)

12. Klasse alle Schüler

Punkte

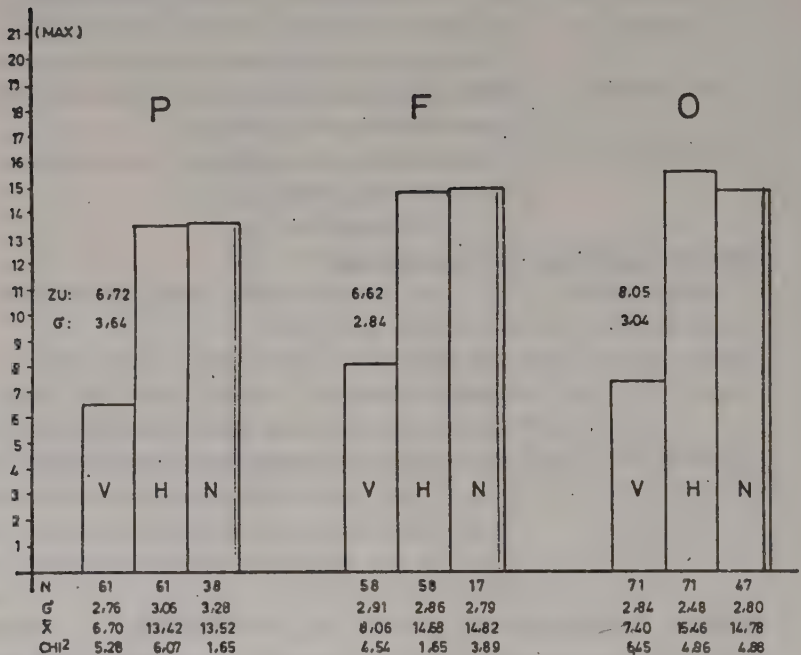


Abb. 28: Durchschnittswerte der erreichten Punktzahlen in den 12. Klassen bei den mit den verschiedenen Methoden unterrichteten Gruppen

	V	H	N	Zu
t _{P/O}	1,41	4,19	1,88	2,26
t _{F/O}	1,28	1,64	0,049	2,71
t _{P/F}	2,59	2,29	1,39	0,16

Ein Säulendiagramm über die Durchschnittswerte der erreichten Punktzahlen bei den einzelnen Klassen befindet sich im Anhang (Anlage 18).

12. Klasse weibliche Teilnehmer

Punkte

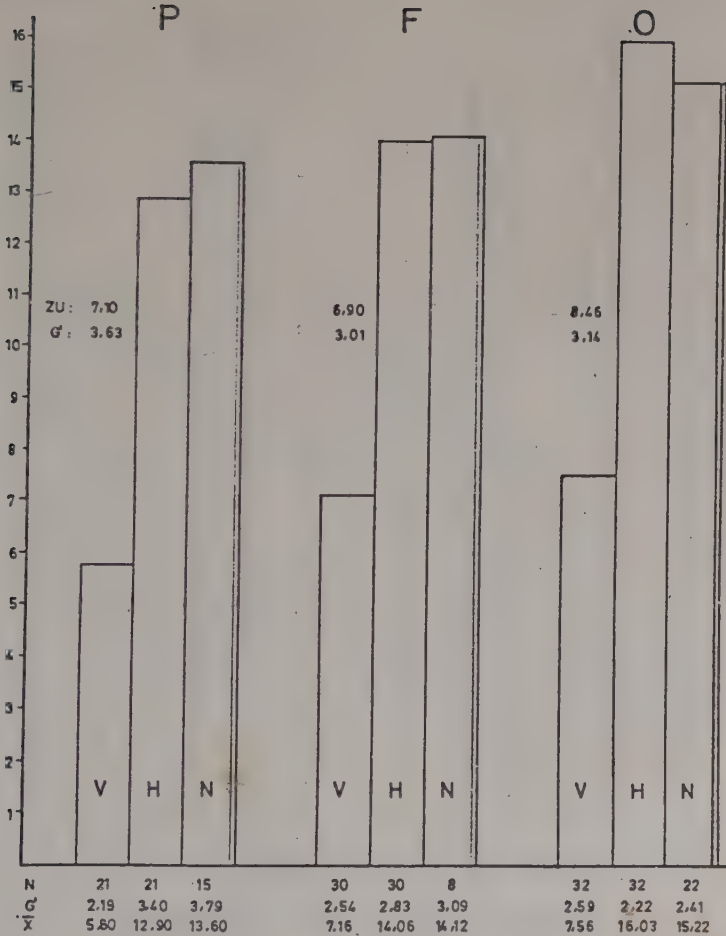


Abb. 29: Durchschnittswerte für die weiblichen Teilnehmer

	V	H	N	Zu
$t_{P/O}$	2,52	t_e 3,65	t_e 1,42	1,43
		t_{th} 1,73	t_{th} 2,42	
$t_{F/O}$	0,60	3,00	0,98	1,96
$t_{P/F}$	1,95	1,29	0,31	0,19

12. Klasse männliche Teilnehmer

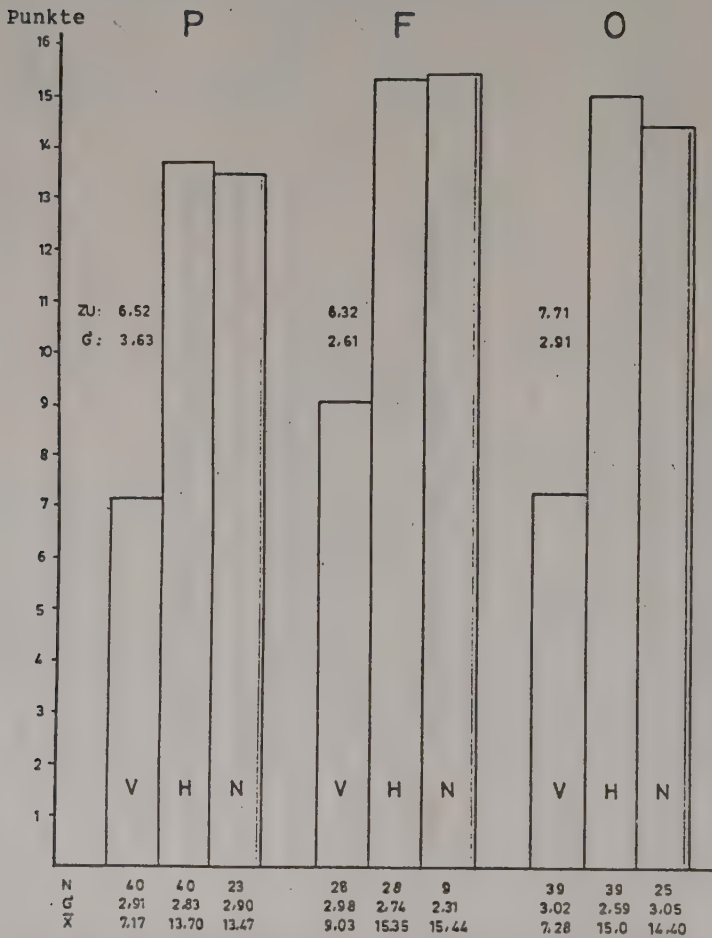


Abb. 30: Durchschnittswerte für männliche Teilnehmer

	V	H	N	Zu
$t_{P/O}$	0,16	2,10	1,05	1,58
$t_{F/O}$	2,31	0,52	0,90	1,98
$t_{P/F}$	2,53	2,36	1,76	0,24
t_P	1,86	0,96	0,11	0,57
t_F	2,53	1,73	0,94	0,76
t_O	0,40	1,75	0,99	1,02

q/σ

12. Vorzensur 8 - 15

Punkte

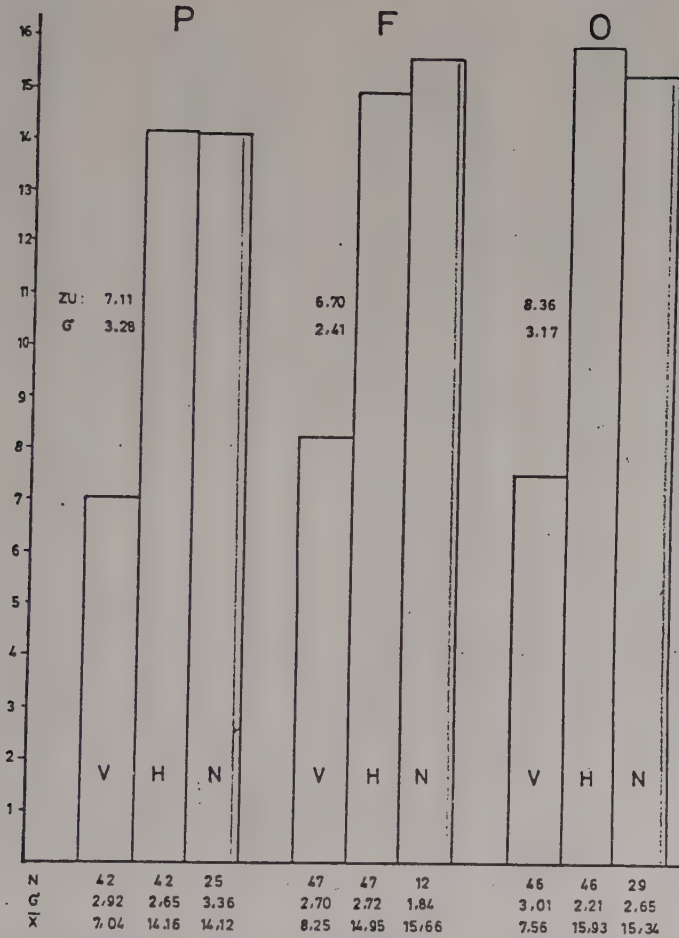


Abb. 31: Durchschnittswerte für gut vorzensierte Schüler

	V	H	N	Zu
$t_{P/O}$	0,81	<u>3,37</u>	1,46	1,76
$t_{F/O}$	1,15	1,88	0,37	<u>2,81</u>
$t_{P/F}$	<u>2,00</u>	1,36	t_e 1,77	0,66
			t_{th} 1,87	

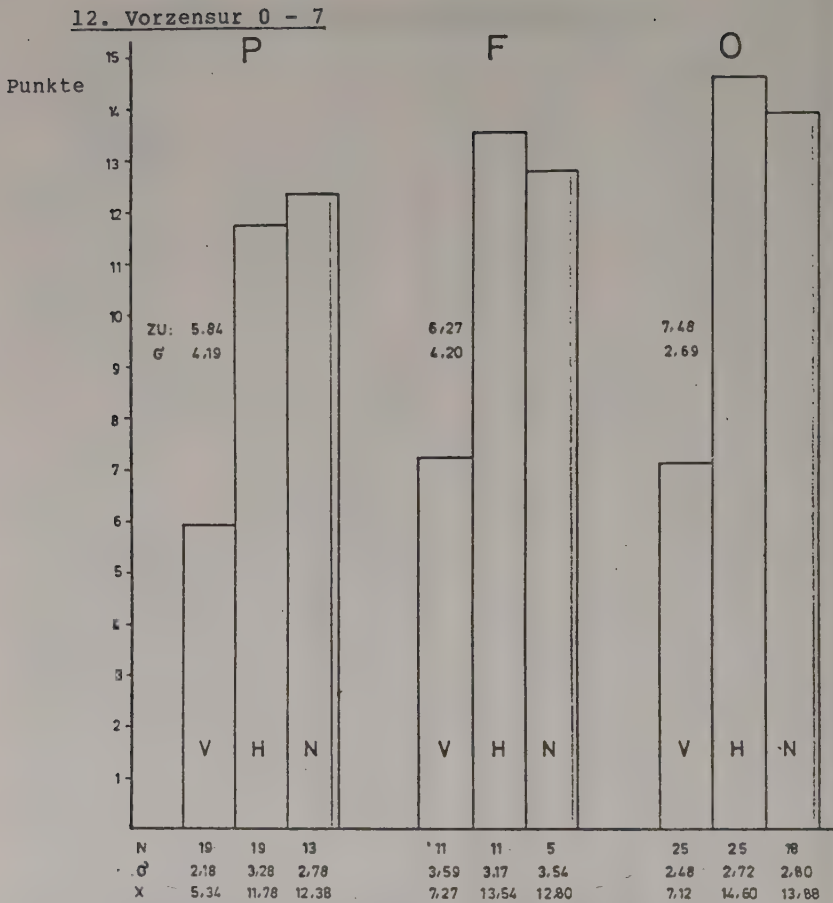


Abb. 32: Durchschnittswerte für schlecht vorzensierte Schüler

	V	H	N	Zu
$t_{P/O}$	1,60	<u>3,04</u>	1,42	t_e 1,45
$t_{F/O}$	0,14	0,99	0,68	t_{th} 2,35
$t_{P/F}$	1,21	t_e 1,07	0,24	1,00
		t_{th} 2,63		0,26
0-7/8-15 t_P	1,44	<u>2,95</u>	1,56	1,25
t_F	0,99	<u>1,47</u>	<u>2,04</u>	0,44
t_O	0,61	<u>2,19</u>	1,75	1,16

12. Vortest 9 - 16

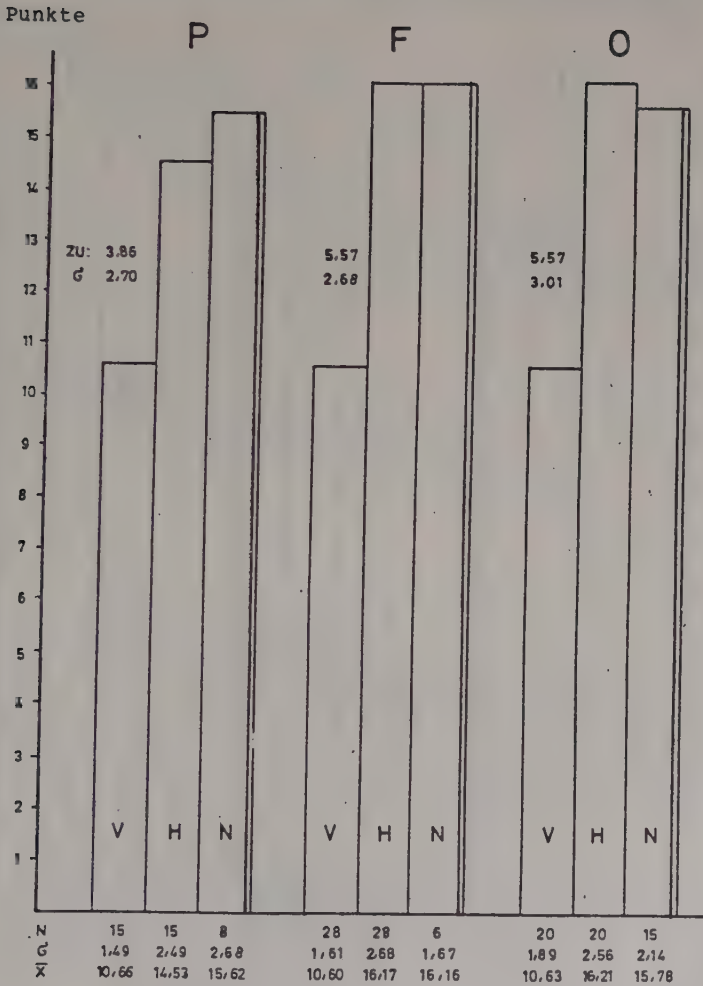


Abb. 33: Schüler mit hohem Vorwissen

	V	H	N	Zu
$t_{p/O}$	0,04	1,86	0,14	1,66
$t_{F/O}$	0,05	0,05	0,36	0,00
$t_{p/F}$	0,11	1,91	0,40	1,94

12. Vortest 1 - 8

Punkte

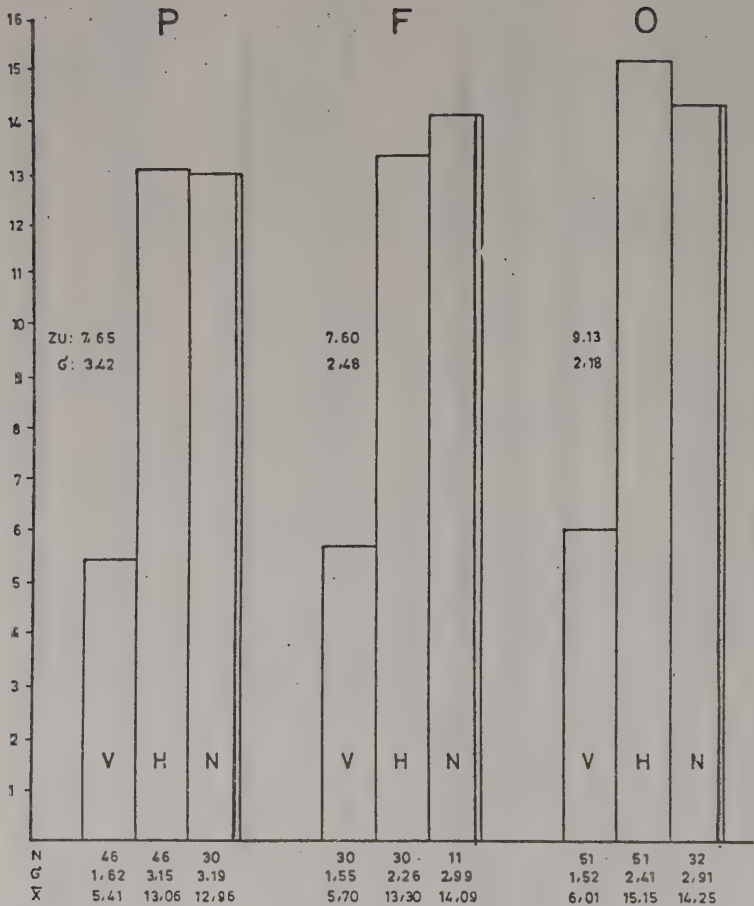
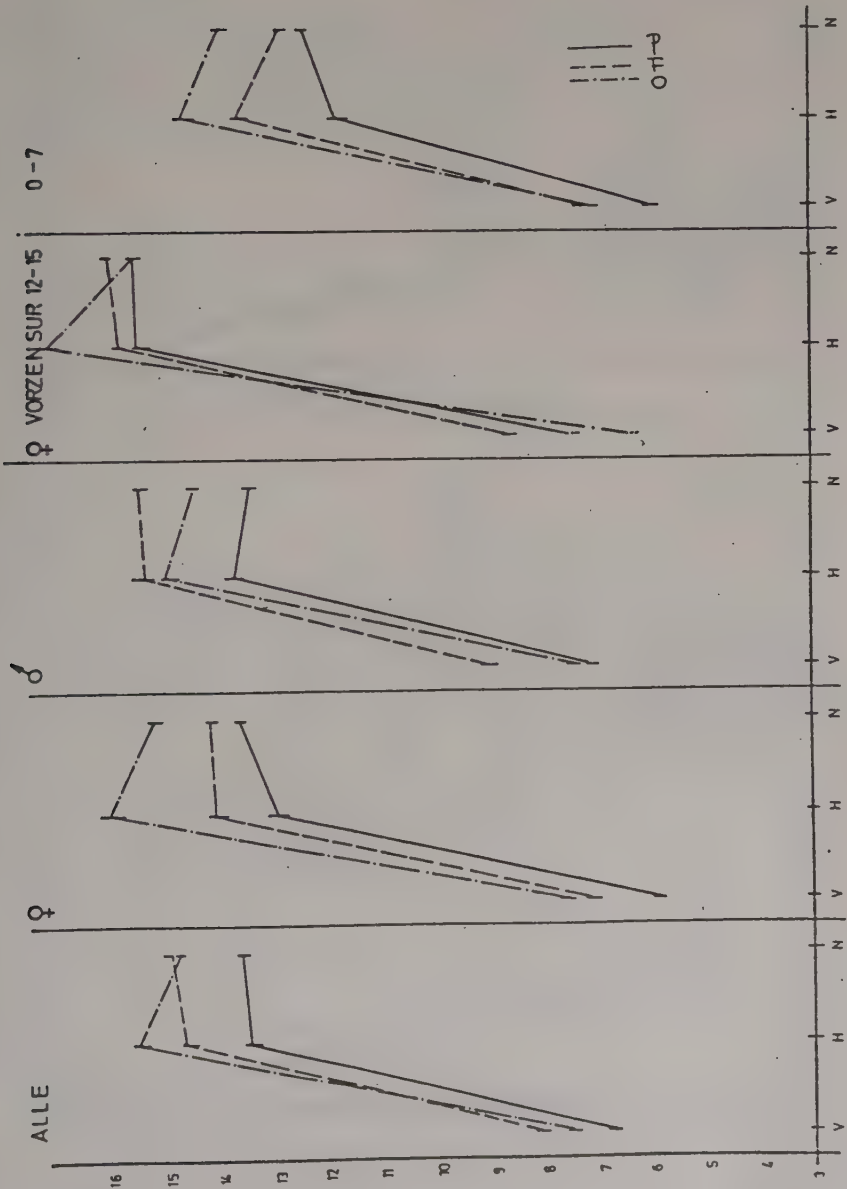
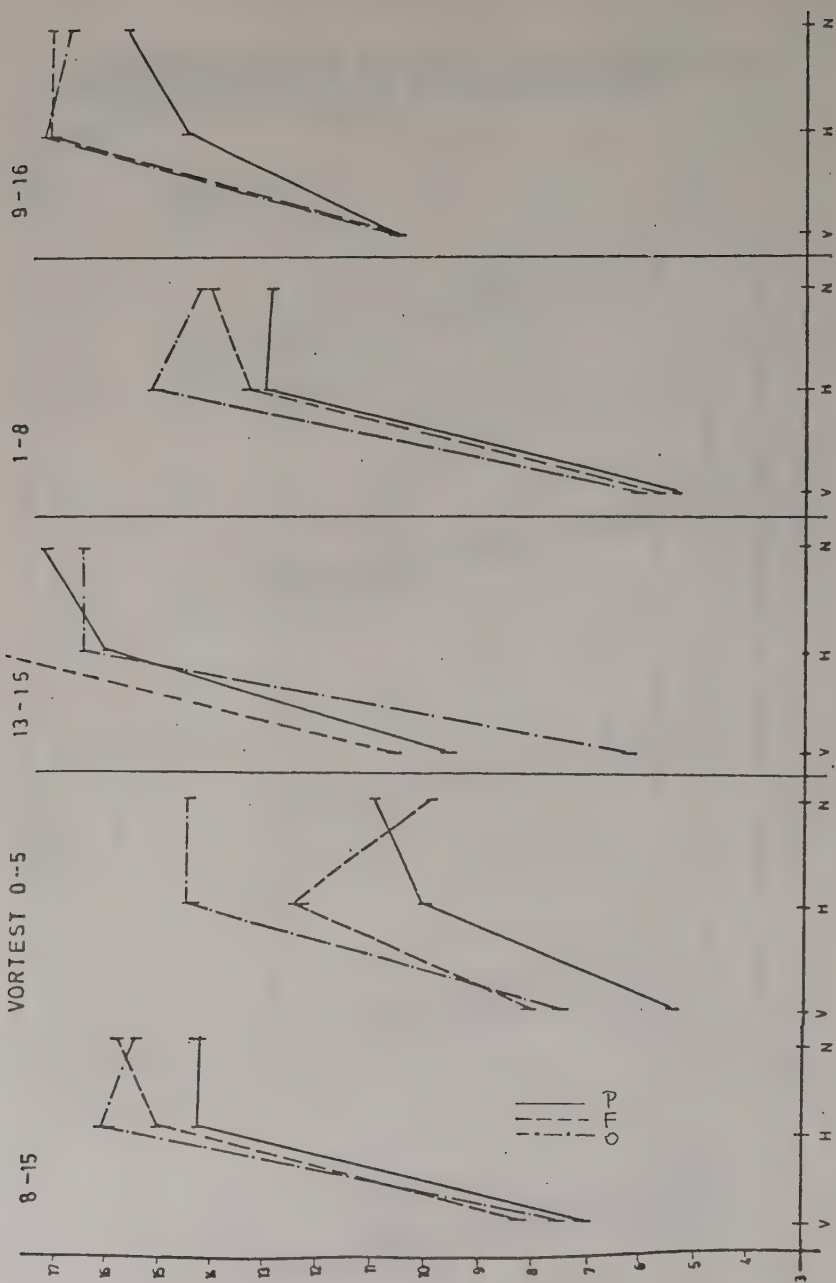


Abb. 34: Schüler mit niedrigem Vorwissen

	V	H	N	Zu
$t_{P/O}$	1,86	3,65	1,63	t_e 2,50
$t_{F/O}$	0,86	3,37	0,15	t_{th} 1,20
$t_{P/F}$	0,76	0,35	0,99	2,86
				t_e 0,07
				t_{th} 1,39

Abb. 35: Vergleich der absoluten Werte der Durchschnittspunktzahlen bei den mit P, F, O unterrichteten Schülern der 12. Klasse





7.

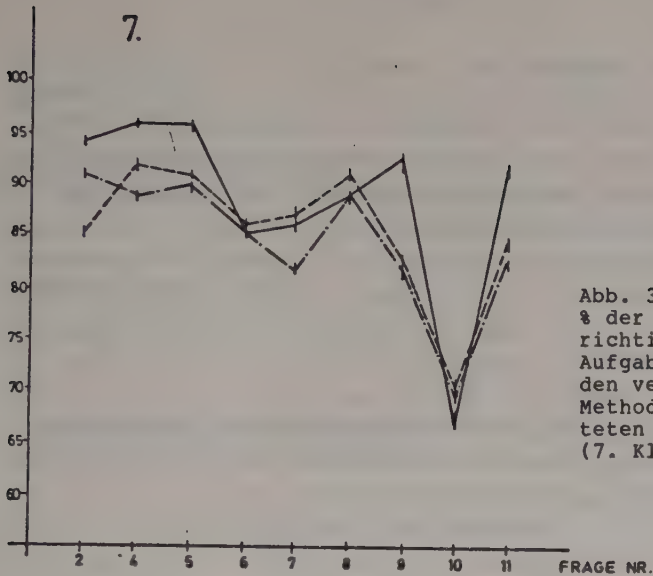


Abb. 36:
% der im Haupttest
richtig gelösten
Aufgaben bei den mit
den verschiedenen
Methoden unterrich-
teten Gruppen
(7. Klasse)

12.

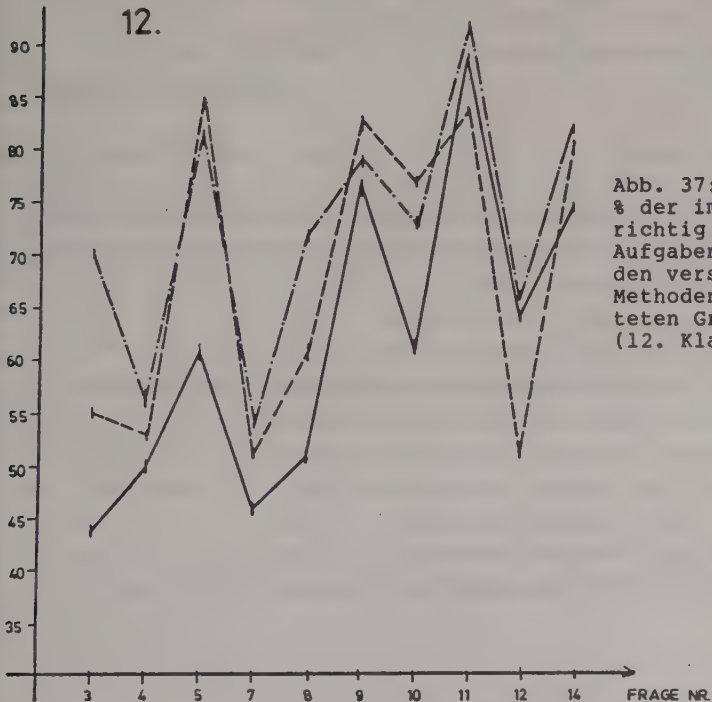


Abb. 37:
% der im Haupttest
richtig gelösten
Aufgaben bei den mit
den verschiedenen
Methoden unterrich-
teten Gruppen
(12. Klasse)

Für die 12. Klassen

Absoluter Lernerfolg und Lernzuwachs unterscheiden sich signifikant bei programmiertem und lehrergeleiteten Unterricht zugunsten des lehrergeleiteten. (Die Behaltensleistung ist bei beiden gleich groß.)

Damit kann H_{1-0} für die 12. Klassen zurückgewiesen werden.

Kurzform: $O > P$

Absoluter Lernerfolg (und Behaltensleistung) unterscheiden sich nicht signifikant bei lehrergeleiteten Unterricht mit und ohne Film.

Kurzform : $O = F$

Der Lernzuwachs unterscheidet sich signifikant zugunsten von O .

Kurzform: $O > F$

Allerdings ist der Sinn dieser Nebenuntersuchung, nämlich einen Lernzuwachs aufgrund des Films auszuschließen, dennoch erfüllt.

Absoluter Lernerfolg unterscheidet sich signifikant bei lehrergeleiteten Biologieunterricht mit Film und programmiertem Unterricht zugunsten des lehrergeleiteten.

Somit bestätigt auch dieses Ergebnis die Abweisung von H_{1-0} .

Kurzform $F > P$ für den absoluten Lernerfolg

($F = P$ für Lernzuwachs und Behaltensleistung)

Aufgliederung nach verschiedenen, ausgewählten Teilnehmergruppen:

Weibliche Teilnehmerinnen

Das Gesamtergebnis für die 12. Klassen wird hier nur in der Grundtendenz bestätigt. Die höchsten absoluten Durchschnittswerte finden sich bei allen drei Tests in der Methode O. (Abb. 29)

	O > P	für den absoluten Lernerfolg
	O = P	für Lernzuwachs (und Behaltensleistung); geringe Aussagekraft wegen signifikanter Vor- testunterschiede
F = O		für Lernzuwachs(und Behaltensleistung)
	O > F	für den absoluten Lernerfolg
P = F		für absoluten Lernerfolg, Lernzuwachs (und Behaltensleistung)

Männliche Teilnehmer

Die höchsten absoluten Durchschnittswerte finden sich bei der Methode F, die niedrigsten bei P. (Abb. 30)
Lehrergeleiteter Unterricht führt zu besseren Ergebnissen als programmierter.

	O > P	für den absoluten Lernerfolg
	O = P	für Lernzuwachs (und Behaltensleistung)
F = O		für absoluten Lernerfolg (und Behaltensleistung); geringe Aussagekraft wegen signifikanter Vortestunterschiede
F > P		für den absoluten Lernerfolg
	F = P	für Lernzuwachs (und Behaltensleistung); geringe Aussagekraft wegen signifikanter Vortestunterschiede

Bei den verschiedenen Methoden ergaben sich keine signifikanten Unterschiede zwischen weiblichen und männlichen Teilnehmern, die mit der gleichen Methode unterrichtet wurden.

$$P_{\bar{Q}} = P_{\bar{O}}; F_{\bar{Q}} = F_{\bar{O}}; O_{\bar{Q}} = O_{\bar{O}} \text{ (Abb. 30)}$$

Schüler mit guten Vorzensuren

Die absoluten Werte für Lernerfolg und Lernzuwachs sind bei der Methode O am höchsten. (Abb. 31)

$O_g > P_g$	für den absoluten Lernerfolg
$O_g = P_g$	für Lernzuwachs (und Behaltensleistung)
$F_g = O_g$	für absoluten Lernerfolg (und Behaltensleistung), $O > F$ für Lernzuwachs
$P_g = F_g$	für absoluten Lernerfolg, Lernzuwachs (und Behaltensleistung); geringe Aussagekraft wegen signifikanter Vortestunterschiede

Schüler mit schlechten Vorzensuren

Die absoluten Werte für Lernerfolg, Lernzuwachs (und Behaltensleistung) sind bei der Methode O am höchsten. (Abb. 22)

$O_s > P_s$	für den absoluten Lernerfolg
$O_s = P_s$	für Lernzuwachs (und Behaltensleistung)
$F_s = O_s$	für absoluten Lernerfolg, Lernzuwachs (und Behaltensleistung)
$P_s = F_s$	für absoluten Lernerfolg, Lernzuwachs (und Behaltensleistung)

Bei extrem guten und bei extrem schlechten Schülern ist jeweils der absolute Wert für den Lernzuwachs bei der Methode O am höchsten, der Lernerfolg bei P am niedrigsten. (Anlagen 19 u. 20)

Vergleicht man gute und schlechte Schüler, die mit der gleichen Methode unterrichtet wurden, so ergibt sich für den absoluten Lernerfolg bei P und O ein signifikanter Unterschied zugunsten der guten Schüler.

Man kann also auch in den 12. Klassen nicht sagen, daß schlechte Schüler mit PU besser lernen.

Schüler mit niedrigem Vorwissen

Die absoluten Werte für Lernerfolg, Lernzuwachs (und Behaltensleistung) sind bei der Methode O am höchsten. (Abb. 34)

$O_n > P_n$	für absoluten Lernerfolg und Lernzuwachs ($P_n = O_n$ für die Behaltensleistung)
$O_n > F_n$	für absoluten Lernerfolg und Lernzuwachs ($O_n = F_n$ für die Behaltensleistung)
$P_n = F_n$	für absoluten Lernerfolg, Lernzuwachs (und Behaltensleistung)

Schüler mit hohem Vorwissen

Hier kommt der "Deckeneffekt" voll zum Tragen. Nirgendwo ergeben sich signifikante Unterschiede. Die absoluten Werte bei den Methoden O und F liegen aber deutlich über denen bei P. (Abb. 33)

Dasselbe gilt für gut vorzensierte Mädchen. (Anlage 21)

Zusammenfassung der Ergebnisse :

Die wichtisten Ergebnisse der vergleichenden Untersuchung bei den 7. Klassen sind:

- Programmierter Unterricht mit einem linearen Buchprogramm zum Thema Photosynthese bei kurzzeitigem Einsatz (drei Schulstunden) führt zu höherem absoluten Lernerfolg, Lernzuwachs (und Behaltensleistung) als lehrergeleiteter Unterricht.
Dies gilt für lehrergeleiteten Unterricht mit und ohne den kurzzeitigen Einsatz von Filmausschnitten.

Die ausgewählten Teilstichproben

- Mädchen, Schüler mit guten Vorzensuren und Schüler mit gleichem Vorwissen zeigen die gleichen Ergebnisse wie die Gesamtstichprobe.
- Gute Schüler zeigen bessere Ergebnisse in absolutem Lernerfolg (und Behaltensleistung) als schlechte Schüler bei der programmierten Lehrmethode.
- Mädchen und Buben zeigen innerhalb derselben Lehrmethode keine Unterschiede im absoluten Lernerfolg, Lernzuwachs (und Behaltensleistung).
- Die übrigen Teilstichproben bestätigen in ihrer Grundtendenz das Gesamtergebnis.

Bei den 12. Klassen

- Lehrergeleiteter Unterricht führt zu signifikant höherem absolutem Lernerfolg und Lernzuwachs als programmierter Unterricht mit einem linearen Buchprogramm zum Thema Photosynthese bei kurzzeitigem Einsatz (drei Schulstunden)
- Bei den ausgewählten Teilstichproben weibliche Teilnehmer, männliche Teilnehmer, Schüler mit guten Vorzensuren, mit schlechten Vorzensuren und Schüler mit gleichem Vorwissen wird die Grundtendenz der Gesamtstichprobe im wesentlichen bestätigt.

- Männliche und weibliche Teilnehmer zeigen innerhalb der gleichen Lehrmethode keine signifikanten Unterschiede in absolutem Lernerfolg, Lernzuwachs (und Behaltensleistung).

3.6 Diskussion

In dieser Untersuchung sollte die Frage geklärt werden, ob sich PU auch im Fach Biologie, speziell für physiologische Themen, als Lehrmethode eignet, oder ob der lehrergeleitete (konventionelle) Unterricht zu besserem Lernerfolg führt. Diese Problemstellung ist zwar von einigen Autoren aufgegriffen und teilweise erörtert worden (Kunz 1970, Muslow 1973, Staeck 1980), aber noch nie an einer relativ großen Schülergruppe im systematischen Vergleich untersucht. Außerdem wurde noch nie ein Vergleich der Lerneffektivität zwischen PU und LU in verschiedenen Altersstufen mit demselben Lerninhalt durchgeführt.

Die Gesamtdiskussion der in Kap. 3.5 dargelegten Ergebnisse zeigt, daß signifikante Unterschiede zwischen dem Lernerfolg bei lehrergeleitetem und programmiertem Unterricht auftreten. Dabei ergibt sich, bei dieser Art des Programmeinsatzes in dieser Untersuchung, ein deutlicher Unterschied zugunsten des PU bei den jüngeren Schülern.

Biologische Lerninhalte (hier : Grundbegriffe der Photosynthese) können also durchaus programmiert vermittelt werden. Bei 13jährigen Schülern (7. Klasse des Gymnasiums) führt selbst gut gegliederter, logisch und klar aufgebauter lehrergeleiteter Biologieunterricht, der Raum für frei formulierte Fragen läßt und bei dem aus dem Klassenverband Anregungen kommen können, in dieser Untersuchung zu schlechteren Testergebnissen als PU.

Die starke Aufgliederung des Lernstoffs, der für die Zeit der Stoffvermittlung fehlende Kontakt zum Lehrer und den

Mitschülern, eine Motivation, die nur über richtige Antworten erfolgt, führt bei so kurzzeitigem Einsatz (drei Unterrichtsstunden) und diesem Lerninhalt (Photosynthese) nicht zu einer Störung im Lernerfolg.

Jüngere Schüler lieben offenbar einerseits Aktivität und Selbstbeschäftigung, andererseits aber auch die straffe Führung, die klaren Aussagen des Programms und die sehr kleinen Lernschritte.

Die Gefahr des Trödelns und Mogelns scheint hierbei recht gering zu sein. Die jüngeren Schüler lernten in der gleichen Zeit sogar erfolgreicher, d.h. sie erreichten durchschnittlich höhere Punktzahlen im Haupttest und müssen sich daher in der zur Verfügung stehenden Zeit intensiv mit dem Lernprogramm beschäftigen haben.

Dieses Ergebnis entspricht dem der Einstellungstests, die von Schneider und Grundmann-Henke (1973) veröffentlicht wurden. Danach gaben 91% der jüngeren Schüler (unter 14 Jahren) an, daß ihnen die Arbeit mit dem Programm sehr gut oder gut gefallen habe und 64% der älteren Schüler (14 - 18 Jahre) beurteilten die Programmarbeit positiv.

Die Befragung erfolgte im Schuljahr 1967/68.

Nicht bestätigt werden kann die Vermutung, daß schlechte Schüler durch PU besser gefördert würden. Geringe Eigenmotivation kann durch die positiven Erfahrungen der richtigen Antworten infolge kleinster Lernschritte nicht ausgeglichen werden.

Besonders gut arbeiten gut zensierte Schüler und Mädchen mit der programmierten Lernmethode.

Bei älteren Schülern ist der lehrergeleitete Unterricht erfolgreicher.

Ältere Schüler (18jährige, 12.Klasse des Gymnasiums) lernen in der hier vorliegenden Versuchsanordnung ebenfalls gut mit der programmierten Lernmethode, allerdings deutlich schlechter als mit lehrergeleitetem Unterricht.

Dies liegt wahrscheinlich nicht daran, daß sie über viele Jahre hinweg an diese Methode gewöhnt sind. Auch Studenten arbeiten noch gern mit Programmen, und ebenso werden in der beruflichen Fort- und Ausbildung Programme mit Erfolg eingesetzt.

Daß die Methode für ältere Schüler zu ungewohnt sei und ihnen daher eine Umstellung schwerfällt, kann wohl ausgeschlossen werden. Dr. Keil bestätigte im Gespräch, daß auch an der Zentralstelle für PU in Augsburg, in der die gleichen Schüler über Jahre hinweg immer wieder mit PU konfrontiert werden, ältere Schüler gern, aber weniger gern als jüngere mit Buch- und Computerprogrammen arbeiten. (siehe dazu auch Kap. 2.6; Schneider, Grundmann-Henke 1973)

Das Problem liegt wohl weniger an der automatisierten Lehrmethode, sondern mehr an der Art des Programms. Das hier verwendete Programm ist ein einfaches, lineares Programm, das Einwände und weiterführende Fragen der Schüler nicht berücksichtigen kann. Schüler der 12. Klassen des Gymnasiums haben aber teilweise schon rel. hohes Vorwissen zum Thema Photosynthese, das oft nicht mehr ganz exakt ist. Daraus ergeben sich Fragen, auf die das Programm nicht eingeht. Es schreitet kontinuierlich in kleinen, vorgegebenen Schritten voran und erzeugt dabei evtl. sogar Mißverständnisse. Dadurch fehlt die sofortige Verstärkung, was wiederum die dringend erforderliche Motivation senkt. Die immer gleiche Art der Verstärkung (Erkennen der richtigen Lösung) reicht bei älteren Schülern wohl nicht aus, "Schüler älteren Jahrgangs benötigen vermutlich eine Abwechslung in der Qualität der Verstärker", schreibt auch Walter. (1971, S. 134)

Bei hohem Vorwissen sind die Lernschritte wohl zu klein und es tritt Langeweile auf. Dadurch fühlen sich ältere Schüler oft nicht ernstgenommen.

Ob verzweigte, adaptive und vor allem Computerprogramme hier zu besseren Lernergebnissen führen, müßte zusätzlich untersucht werden. Bisher gibt es darüber nur Vermutungen.

Die flexiblere Rückkopplungsmöglichkeit mit dem Lehrer ist bei differenzierterem Vorwissen und Interesse der älteren Schüler offenbar unerlässlich.

Die Lerntheorie der kleinen Schritte und der ständigen positiven Verstärkung (Skinner) stößt hier in der Praxis besonders schnell an ihre Grenzen. (siehe dazu auch Kap.2.1) Es erscheint unmöglich, alle denkbaren Schülerfragen und -antworten vorher einzuplanen.

Hier konnte auch fachspezifisch eine deutliche Grenze des PU aufgezeigt werden. Wo die Schüler Querverbindungen zu anderen Fächern herstellen können und ihr Vorwissen einbringen wollen, genügt eine lineares Programm nicht. Das Thema Photosynthese kann in der Oberstufe nur interessant behandelt werden mit chemischen, physikalischen und evtl. geographischen Hinweisen. Es reicht also nicht, daß ein Schüler mit hohem Vorwissen und großem Interesse einfach schneller im Programm vorangeht. Hier ist er auch auf Nebeninformation durch den Lehrer angewiesen.

Je komplexer und differenzierter der Sachverhalt, desto wichtiger ist eine differenzierte Darbietung und desto schwieriger ist es, ihn linear programmiert zu vermitteln. Je älter die Schüler sind, desto schwerer fällt ihnen das rein formale Lernen ohne große Zusammenhänge.

Dazu schreibt Schöler : "Es kommt in diesem Zusammenhang jedoch immer darauf an, wie weit es dem Programmierer gelungen ist, die möglichen Einwände, Fragen und Bedenken der Schüler vorausszusehen und durch individuell gesteuerte Gedankenoperationen elastisch in sein Programm, etwa durch Sprungelemente, einzufügen" (Schöler 1967, S. 100).

Entsprechende Computerprogramme wären dazu vielleicht eher in der Lage.

Interessant ist auch die Untersuchung von Beiner, bei der "eine individualisierte Programmstrategie gegenüber einer linearen Strategie zu einer signifikanten Steigerung des Unterrichtserfolgs führt" (Beiner 1972, S. 103).

Inwieweit dies besonders für ältere Schüler und evtl. auch Studenten zutrifft oder ob andere Gründe für das schlechtere Abschneiden des PU gegenüber LU bei älteren Schülern vorliegen, sollte noch untersucht werden.

Bestätigt wird das Gesamtergebnis, wenn man die Testergebnisse für die einzelnen Fragen in den 7. und 12. Klassen aufgliedert (Abb. 36 u. 37)

In den 7. Klassen wurden sämtliche Fragen von den mit PU unterrichteten Schülern besser bearbeitet als von den mit 0 unterrichteten. Eine Ausnahme macht nur die Frage 10., die man wohl als "schwere" bzw. "Denkfrage" (transfer) einstufen kann.

Betrachtet man die Prozentzahlen der richtig gelösten Fragen bei den 12. Klassen, so schneiden die mit PU unterrichteten Schüler schlechter ab als die im lehrergeleiteten Unterricht.

Wendet man die Ergebnisse dieser Untersuchung auf die Schulpraxis an, so kann man sagen, daß es durchaus wünschenswert wäre, auch im Fach Biologie bei jüngeren Schülern in klar abgegrenzten und gut zu programmierenden Teilbereichen (z.B. Physiologie) über kürzere Zeitabschnitte PU einzusetzen.

Das so vermittelte Wissen führt zu gutem Lernerfolg vor allem bei Mädchen und gut zensierten Schülern. Man macht die Schüler dadurch mit einer Lehrmethode vertraut, die ihnen weitgehend orts- und zeitunabhängig sowie relativ billig die Möglichkeit gibt, sich außerschulisch Wissen gut und gründlich anzueignen.

Für die Schule bringt diese Lehrmethode Abwechslung, sie kann Lehrerausfälle überbrücken, Schülern bei Krankheit das Nachlernen erleichtern, als Übungs- und Wiederholungsmöglichkeit vor Prüfungen dienen.

Hier ergibt sich eine Aufgabe für Pädagogen und Didaktiker,

das Angebot an guten, erprobten, möglichst lehrplankonformen Programmen zu erweitern. Möglicherweise liegt hier auch ein sinnvolles Betätigungsfeld für junge (arbeitslose) Lehrer. Sie müßten allerdings bei dieser schwierigen, anspruchsvollen Arbeit von erfahrenen Pädagogen, den Schulbehörden und evtl. den Schulbuchverlagen unterstützt werden.

Eine andere Situation ergibt sich für die Vermittlung von anspruchsvollerem Lehrstoff an ältere Schüler.

Zu einfach aufbereitet verunsichert eine solche programmierte Darbietung eher und ist damit bei komplexeren biologischen Sachverhalten dem konventionellen Unterricht unterlegen. Es genügt also hier nicht, kleine, abgegrenzte Stoffgebiete einfach und schnell programmiert zu lehren. Wenn mit einfachen Lernprogrammen auch deutlicher Lernzuwachs erreicht werden kann, ist - wenn möglich - lehrergeleiteter Unterricht eindeutig vorzuziehen.

Die Vermutung mancher Pädagogen, daß ältere Schüler personenungebunden besser lernen als jüngere, kann hier nicht bestätigt werden.

Inwieweit flexiblere, variationsreichere, verzweigte, adaptive Programme und vor allem Computerprogramme dem komplexeren Lerninhalt und dem höheren Anspruch der älteren Schüler eher gerecht werden, müßte noch genauer untersucht werden.

Was dennoch bleibt, auch für die älteren Schüler, ist die Zeit- und Ortsunabhängigkeit und daß Buchprogramme billiger sind als Nachhilfeunterricht. Ein gewisser, wenn auch geringerer Lernerfolg läßt sich damit, vor allem für den häuslichen Bereich, erzielen und ist als Übungs- und Wiederholungsmöglichkeit auch für ältere Schüler nicht generell abzulehnen.

Die Entwicklung anspruchsvollerer Programme muß wohl an den Universitäten (bzw. in größeren Industriebetrieben) erfolgen. Ob und inwieweit sich die Schule um eine Mitverwendung bemühen sollte, ist fraglich bzw. nur selten oder nur für einzelne Schüler zu erwägen.

Im schulischen Bereich erforscht werden sollte, welche biologischen Themen nur schlecht oder nicht programmiert vermittelt werden können (vor allem im affektiven Lernbereich), wie sich länger andauernder PU im Fach Biologie auf den Lernerfolg und die Einstellung zum Fach auswirkt und ob verzweigte bzw. adaptive Programme bei komplexeren physiologischen Themen vor allem bei älteren Schülern einen besseren Lernerfolg erzielen als lineare.

4. Zusammenfassung

1. Die vorliegende Arbeit setzt sich mit den Grundlagen, der geschichtlichen Entwicklung und der Einsetzbarkeit des PU in der Schule auseinander. Sie versucht einen zusammenfassenden Überblick über die in der Literatur beschriebenen Vor- und Nachteile des PU zu geben und die Grenzen dieser Lehrmethode, v.a. im Fach Biologie aufzuzeigen.
2. Aufgrund einer Felduntersuchung vergleicht sie absoluten Lernerfolg, Lernzuwachs und Behaltensleistung bei lehrergeleitetem, personengebundenem und programmiertem, automatisiertem, personenunabhängigem Biologieunterricht (Methodenvergleich) mit einem linearen Buchprogramm zum Thema "Photosynthese" bei kurzzeitigem Einsatz (drei Schulstunden).
Dabei war es besonders wichtig zu zeigen, inwieweit Programmierter Unterricht für das Fach Biologie und für verschiedene Altersstufen geeignet ist.
3. An der Untersuchung nahmen 564 Schüler an sechs verschiedenen Gymnasien teil, 494 Schüler gingen in die Auswertung ein.

4. Die Untersuchung ergab, daß 13jährige Schüler mit Programmierem Unterricht im Fach Biologie einen signifikant höheren Lernerfolg und Lernzuwachs erreichen als mit gut gegliedertem, lehrergeleiteten Unterricht desselben Inhalts.
5. Bei 18jährigen Schülern dagegen führte der lehrergeleitete Unterricht zu signifikant besseren Ergebnissen in absolutem Lernerfolg und Lernzuwachs.
6. PU ist demnach auch im Fach Biologie in der Lage, bei jüngeren Schülern gute Lernerfolge zu erzielen. Es besteht allerdings ein deutlicher Unterschied zum Lernerfolg bei älteren Schülern bei gleichem Unterrichtsthema und gleicher Programmart (hier : lineares Buchprogramm).

Dieses Ergebnis gilt für das zugrundegelegte Programm und die durch die untersuchte Stichprobe repräsentierte Grundgesamtheit. Eine darüber hinausgehende Generalisierung ist nicht gerechtfertigt.

ANLAGE 1

Anweisungen für die Lehrer der 7. Klassen und geplanter Unterrichtsverlauf

Sehr geehrter Herr/Frau.....

zunächst möchten wir Ihnen danken, daß Sie sich bereit erklärt haben, bei dieser Untersuchung mitzuwirken. Es sollen verschiedene Lehrmethoden in ihrer Lernwirksamkeit auf verschiedenen Altersstufen untersucht werden. Um dabei vom etwa gleichen Lehrstoff ausgehen zu können, wählen wir das Thema Photosynthese.

Natürlich wissen wir, daß Sie als erfahrener Lehrer das Thema Photosynthese oft gelehrt haben und dazu keiner Anleitung bedürften. Um aber dem Grundsatz der verschiedenen Lehrmethoden Rechnung zu tragen, bitten wir Sie, sich so genau wie möglich an die angegebene Gliederung zu halten. Sie sollten auf jeden Fall jeden einzelnen Gliederungspunkt, der auf der Folie angeführt ist, genau besprechen. Weitergehende Anleitungen finden sie im Anschluß. Es sind Hinweise. Die genaue Durchführung bleibt Ihnen überlassen. Bevorzugen Sie bitte die fragend-entwickelnde Unterrichtsform. Gestalten Sie Ihren Unterricht so interessant wie möglich, verwenden Sie aber keinesfalls zusätzliche Lehrmittel: keine Zeichnungen an der Tafel, keine Dias, keine Wandbilder oder sonstige Abbildungen außer den von mir vorgegebenen Folien, um die Vergleichbarkeit des Unterrichts zu gewährleisten.

Zum Vortest sollten Sie an Ihre Schüler kurz ein paar Worte richten, weil es unüblich ist, einen Test über einen noch nicht besprochenen Stoff zu schreiben. Erwähnen Sie die Versuchssituation, aber stellen Sie sie nicht zu sehr heraus. Sagen Sie den Schülern bitte, daß am Ende der Unterrichtseinheit nochmal ein Test folgt, der benotet wird. Damit soll erreicht werden, daß die Schüler dies nicht als Experiment, sondern als normale Unterrichtssituation auffassen. Sagen Sie aber bitte keinesfalls, daß es der gleiche Test sein wird! Die spätere Gewichtung dieses Tests bleibt selbstverständlich Ihnen überlassen.

Um die bei den verschiedenen Lehrmethoden aufgewendete Zeit möglichst gleich zu halten, sollten Sie sich an folgende Zeiteinteilung halten:

1. Std. Kurze Einführung
Vortest max. 10 - 15 Min.
Besprechung des 1. Teils (bis ca. Gasblasenversuch bzw. LE 13 1. Film)
2. Std. Besprechung des weiteren Sauerstoffnachweises, der Licht- und Kohlendioxidabhängigkeit bzw. LE 14-27
3. Std. Besprechung der Blattgrünabhängigkeit bzw. LE 28-36

Ca. 4 Wochen nach dem Haupttest sollten Sie von Ihren Schülern den Nachtest bearbeiten lassen. Er soll die Behaltensleistung testen. Daher ist es wichtig, daß Sie zwischen-

zeitlich die Lehrinhalte nicht noch zusätzlich vertiefen. Die in der Untersuchung verwendeten Kurzfilme sind den beiden Filmen : Photosynthese, Sauerstoffentwicklung : Blattgrün und CO_2 -Angebot und Photosynthese, Sauerstoffentwicklung : Lichtabhängigkeit (Klett Nr. 999029 und 999019 bzw, FWU) entnommen.

Nun wünschen wir Ihnen und Ihren Schülern ein wenig Spaß und viel Erfolg!

PHOTOSYNTHESE

Die Sauerstoffentwicklung in Abhängigkeit von verschiedenen Faktoren

1. MOTIVATION

- Die wichtigsten lebenshaltenden Tätigkeiten sind Essen und Atmen. Man kann nicht viel länger als 1 - 2 Minuten die Atmung unterdrücken.
- Sauerstoff muß dem Körper ständig neu zugeführt werden und wird bei der Atmung verbraucht. Daneben verbrauchen alle Verbrennungsvorgänge mit Holz, Kohle, Öl, Benzin u.ä. ebenfalls Sauerstoff.
- Die Zusammensetzung der Luft würde sich entscheidend ändern und damit die Besiedlung der Erde. So könnte nach einiger Zeit kein atmendes Lebewesen mehr auf der Erde existieren, wenn es nicht irgendwo einen Sauerstofflieferanten gäbe.
- Menschen gehen in Wälder und Grünanlagen, um sauerstoffreiche, frische Luft zu atmen.
Haben sie damit recht? Wo ist die Sauerstoffquelle? Sind es wirklich die Pflanzen?
Wird ständig Sauerstoff erzeugt, oder gibt es Zeiten, Situationen, Bedingungen, unter denen besonders viel, weniger oder gar kein Sauerstoff erzeugt wird?
- Kann der Mensch irgendetwas dazutun, oder ist dieser Vorgang der Sauerstoffherzeugung völlig unabhängig von äußeren Einflüssen?

2. LÖSUNGSPLANUNG

Um herauszufinden, wo und wie Sauerstoff erzeugt wird, muß man

- eine Möglichkeit finden, ihn nachzuweisen, d.h. ihn aufzufangen und sichtbar zu machen
- eine Möglichkeit finden, verschiedene Sauerstoffmengen nachzuweisen
- dort wo Sauerstoff entsteht, verschiedene Bedingungen schaffen und dann die jeweilige Sauerstoffmenge nachzuweisen versuchen.

3. ERARBEITUNG

3.1 Nachweis der Sauerstoffentwicklung

Da Sauerstoff ein farb- und geruchloses Gas ist, kann er nicht direkt, sondern nur durch einen Versuch nachgewiesen werden. Da er sich leicht verflüchtigt, ist er überdies in einer einfachen Versuchsanordnung an Landpflanzen nicht leicht aufzufangen. Besser geeignet sind Wasserpflanzen. Der von ihnen gebildete Sauerstoff löst sich in Wasser nur in geringem Maße; der Rest steigt als Gasblasen auf und kann aufgefangen werden.

Man verwendet dafür eine beliebte Aquariumpflanze, die Wasserpest (lat. Elodea). Sie zeichnet sich dadurch aus, daß bei ihr neben den Blättern auch der Stengel grün ist

und Hohlraumsysteme enthält, in denen sich Sauerstoff sammelt. Er kann dann an Schnitt- und Bruchstellen in Form von Gasblasen austreten, die man leicht erkennen kann.

3.1.1. Gasblasenversuch

Filmeinsatz bzw. folgender Unterrichtsinhalt :

Man gibt Elodeapflanzen in ein Glasgefäß mit Leitungswasser und beleuchtet sie mit einer hellen Lampe.

Ergebnis: Kleine Gasblasen steigen auf; sie sind farb- und geruchlos. Ob es sich dabei wirklich um Sauerstoff oder um ein anderes farbloses Gas handelt, muß erst in einem Versuch nachgewiesen werden.

Interpretation : Über die genaue Natur des entstandenen Gases kann noch nichts ausgesagt werden.

3.1.2 Glimmspanprobe

Filmeinsatz bzw. folgender Unterrichtsinhalt :

Die aufsteigenden Gasblasen werden in einen Trichter geleitet und an dessen Ende aufgefangen, um eine genügend große Menge des Gases anzusammeln.

Zur Durchführung der Glimmspanprobe hält man einen noch glühenden Holzspan = Glimmspan oder eine glühende Zigarette in den Strom des aufgefangenen Gases.

Ergebnis : der Glimmspan bzw. die Zigarette glühen hell auf.

Interpretation : Es handelt sich bei dem von der Wasserpest entwickelten Gas um Sauerstoff, da Verbrennungen von Sauerstoff beschleunigt werden.

Diese Sauerstoffnachweismethode hat einen entscheidenden Nachteil. Man braucht dazu nämlich so viel Sauerstoff, daß die Pflanze, um ihn zu erzeugen, Stunden, evtl. sogar Tage braucht. Es gibt eine andere Nachweisreaktion, die weitaus weniger Sauerstoff erfordert, d.h. die "empfindlicher" reagiert. Hierbei ändert sich durch Anwesenheit von Sauerstoff der Farbton eines zugesetzten Stoffes.

3.1.3. Farbreaktion mit Indigocarmin

Man gibt zu einer Elodeapflanze ins Glasgefäß Leitungswasser, das mit etwas farblosem Indigocarmin versetzt wurde.

Ergebnis : Beim Belichten der Pflanze färbt sich nach kurzer Zeit das Indigocarmin überall dort blau, wo Gasblasen entstehen. Indigocarmin wird blau, wenn es mit Sauerstoff reagiert (Blindprobe!)

Interpretation : Bei den an Elodea entstehenden Gasblasen handelt es sich um Sauerstoff.

ZUSAMMENFASSUNG : Pflanzen erzeugen bei Belichtung

Sauerstoff. Alle Lebewesen, also Menschen, Tier und Pflanzen erhalten den für ihre Atmung wichtigen Sauerstoff aus den Pflanzen. Je mehr Pflanzen in der Umgebung sind, umso sauerstoffhaltiger ist die Luft.

Nun wäre es natürlich interessant, herauszufinden, ob dieser Vorgang der Sauerstoffentwicklung der Pflanzen immer abläuft und ob die Menge des erzeugten Sauerstoffs immer gleich groß ist, oder ob äußere Einflüsse hier Veränderungen bewirken können.

3.2 Lichtabhängigkeit

Bei den vergangenen Versuchen wurde immer Licht verwendet. Außerdem kann man leicht zeigen, daß eine Pflanze im Dunkeln verkümmert.

Da das Licht offensichtlich für die Pflanzen eine Rolle spielt, kann man eine Versuchsanordnung wählen, bei der gezeigt wird, daß die Sauerstoffentwicklung tatsächlich mit der Lichtintensität zusammenhängt.

3.2.1 Lichtabhängigkeitsversuch

Filmeinsatz bzw. folgender Unterrichtsinhalt :

Man gibt drei einzelne gleich große Pflanzen von Elodea in drei verschiedene Glasgefäße mit Leitungswasser. Dabei ordnet man die Pflanzen so an, daß ein frisch abgeschnittenes Sprossende nach oben ragt. Aus ihm kann dann der sich entwickelnde Sauerstoff austreten in Form von kleinen Gasblasen.

Eines der drei Gefäße setzt man nun starkem Licht aus.

Das zweite belichtet man nur schwach.

Das dritte wird mit schwarzem Papier so umhüllt, daß man nur mehr das abgeschnittene Sprossende erkennen kann.

Ergebnis : Zählt man nun eine Minute lang die austretenden Gasblasen, so sind es im hell erleuchteten Gefäß am meisten, weit weniger im schwach beleuchteten und im verdunkelten Gefäß keine.

Interpretation . Je intensiver die Beleuchtung, desto stärker die Sauerstoffentwicklung; ohne Licht keine Sauerstoffentwicklung.

3. 3. Kohlendioxidabhängigkeit

Die Pflanzen sind ständig von Luft umgeben. Diese enthält außer Sauerstoff auch Stickstoff, Kohlendioxid und Edelgase (neben rel. geringen Mengen anderer Stoffe). Während Stickstoff in der Regel in Wasser gelöst (z.B. als Nitrat) aufgenommen wird und die Edelgase keinen Einfluß haben, spielt das Kohlendioxid bei der Sauerstoffherzeugung eine wichtige Rolle.

Dies kann man wieder besonders gut an Wasserpflanzen zeigen, weil sich das Gas Kohlendioxid in Wasser löst, während es sich in der Luft als farb- und geruchloses Gas leicht verflüchtigt.

Nun lösen sich Gase umso schlechter in Wasser, je heißer es ist. Wenn man also Wasser kocht, vertreibt man die in ihm gelösten Gase weitgehend und damit auch das Kohlendioxid.

3. 3. 1. Kohlendioxidabhängigkeitsversuch

Filmeinsatz bzw. folgender Unterrichtsinhalt:

Man gibt wieder drei gleich große Wasserpestpflanzen in drei verschiedene Glasgefäße. Dann füllt man einmal abgekochtes (und anschließend abgekühltes), einmal Leitungs- und einmal Sprudelwasser ein. Sprudel ist Wasser, in dem besonders viel Kohlendioxid gelöst ist.

Zu jedem der drei Gefäße gibt man farbloses Indigocarmin. Dann werden die Gefäße gleich stark einige Zeit belichtet, Ergebnis: Im abgekochten, kohlendioxidarmen Wasser keine Blaufärbung; im Leitungswasser eine geringe Blaufärbung und im Sprudel eine starke Blaufärbung.

Interpretation: Ohne Kohlendioxid keine Sauerstoffentwicklung

wenig Kohlendioxid in der Umgebung führt zu geringer Sauerstoffentwicklung

viel Kohlendioxid führt zu einer starken Sauerstoffentwicklung

Kohlendioxid kommt in der Luft nur in ganz geringen Mengen vor. Die Landpflanzen könnten zur Sauerstofferzeugung mehr davon verarbeiten. Ein höherer Kohlendioxidgehalt wäre aber für die Tiere und den Menschen schädlich. Pflanzen sind also nicht nur für die Sauerstofferzeugung wichtig, sondern auch für die Reinigung der Luft von zu viel Kohlendioxid.

3.4 Blattgrünabhängigkeit

Grün ist die charakteristische Farbe der Pflanzen. Bringt man eine grüne Pflanze ins Dunkle, so verfärbt sie sich nach einiger Zeit und wird gelblichweiß.

Erneute Lichtgaben (bevor die Pflanze zu stark geschädigt wurde) führen zu einer Rückbildung der grünen Farbe.

Damit ist gezeigt, daß das Licht und die Blattgrünbildung zusammenhängen.

Ob nun auch die Sauerstoffbildung mit der grünen Farbe zusammenhängt, soll ein Versuch zeigen.

3.4.1. Blattgrünabhängigkeitsversuch

Filmeinsatz bzw. folgender Unterrichtsinhalt:

Ein Alpenveilchen wird für kurze Zeit unter Wasser in ein Glasgefäß gestellt. Das Wasser enthält farbloses Indigocarmin und genügend Kohlendioxid. Man belichtet ausreichend. Ergebnis : Blaufärbung erfolgt nur an den Blättern des Alpenveilchens, die Blüte, die Wurzeln und die Stengel erzeugen keine Blaufärbung des Wassers.

Interpretation : Sauerstoff wird nur an den grünen Teilen der Pflanze erzeugt.

4. FESTIGUNG DER ERGEBNISSE

Damit sind drei Vorbedingungen für die Sauerstoffentwicklung gezeigt worden, nämlich

- Licht von genügender Stärke
- Kohlendioxid in genügender Menge
- Blattgrün

Die Gliederung und die genaue Zusammenfassung ist der Folie zu entnehmen.

5. VERTIEFUNG UND AUSWEITUNG

Aus diesen Erkenntnissen ergeben sich für die Behandlung von Pflanzen, vor allem auch von Nutzpflanzen verschiedene Konsequenzen.

Beispiele :

- In Gebieten mit ständiger starker Nebelbildung ist evtl. die Lichtintensität zu gering
In Geschäfts- und Wohnräumen ohne Fenster muß für eine genügend intensive künstliche Beleuchtung gesorgt werden, wenn die Pflanzen gedeihen und zur Luftverbesserung beitragen sollen
- Pflanzen können vor allem auch in stehenden Gewässern für die Sauerstoffversorgung einen wesentlichen Beitrag leisten
- Ein Blässerwerden der grünen Pflanzenteile beeinträchtigt die Sauerstoffentwicklung negativ und weist auf eine Schädigung der Pflanze hin (z.B. Lichtmangel, Pilze, Mangelercheinungen, saugende Insekten u.ä.)

Beliebig viele weitere Beispiele können von den Schülern gesammelt werden.

WICHTIGER HINWEIS :

Geben Sie bitte keine Hausaufgaben. Sammeln Sie die Programme am Ende der Stunde ein.

Es wird vielleicht nicht ganz zu vermeiden sein, aber die Schüler sollten außerhalb des Unterrichts nichts nachlernen. In diesem Experiment soll die Auswirkung verschiedener Lehrmethoden untersucht werden. Daher ist eine Überlagerung durch andere Lernquellen unerwünscht.

ANLAGE 2

Lernprogramm nach B. Heigl 1981 für die 7. Klassen

PHOTOSYNTHESE

Sauerstoffentwicklung in Abhängigkeit von verschiedenen Faktoren

LERNPROGRAMM

ANLEITUNG ZUR BENÜTZUNG DES PROGRAMMS

Ein Programm gibt Dir die Möglichkeit, selbständig einen Unterrichtsstoff zu erarbeiten, wobei Du den anwesenden Lehrer aber natürlich bei Bedarf fragen kannst.

Der Stoff ist in 36 Lerneinheiten (LE) eingeteilt.

Auf jeder Seite findest Du vier LE.

Die vor jeder LE stehende Zahl gibt die Reihenfolge der Bearbeitung an.

Jede einzelne LE wird in folgender Reihenfolge bearbeitet :

1. LE gründlich lesen
2. Lösung in das Arbeitsblatt eintragen
3. eigene Lösung mit der Lösung auf der nächsten Seite des Programmes vergleichen (mit A gekennzeichnet)
4. bei falscher Lösung LE nochmal durchlesen
5. falsche Lösung im Arbeitsblatt sorgfältig verbessern
6. zur nächsten LE übergehen

HINWEIS :

Natürlich kann man das Lernprogramm sehr schnell durcharbeiten, wenn man mogelt, d.h. die Lösung immer gleich nachschlägt, ohne sie zuerst selbst zu versuchen. Dadurch hättest Du aber natürlich am Ende keinerlei Lernerfolg.

Wenn Du an eine Stelle im Programm gelangst, bei der Du Dir einen Kurzfilm ansehen sollst, so sage es bitte dem anwesenden Lehrer oder schließe Dich beim Zusehen den Mitschülern an, die schon etwas vor Dir an dieser Stelle des Programms angelangt waren.

1. Denkst Du einmal über Deine Lebensbedingungen nach, so wirst du feststellen, daß Du Lebensvorgänge wie Atmen und Essen als selbstverständlich hinnimmst. Anderen Menschen geht es genauso wie Dir.

Und doch weiß jeder, daß ohne a)..... und b)..... sein Leben bald aufhören würde.

10. Unter den Pflanzen gibt es Landpflanzen und Wasserpflanzen. Die Gase, die von Wasserpflanzen abgegeben werden, gelangen in das Wasser und steigen an die Wasseroberfläche. Auf ihrem Weg von der Pflanze bis zur Oberfläche kann man sie beobachten.

Für Experimente auf der Suche nach dem a)Sauerstoff-..... sind also die b).....-pflanzen besonders gut geeignet, weil man die abgegebenen Gase auf ihrem Weg zur Wasseroberfläche c).....kann.

19 Bei dem Gasblasenversuch und bei dem Indigocarmin-Versuch wurde starkes Licht verwendet. Daraus ergibt sich die Vermutung, daß das Licht bei der Sauerstofferzeugung eine Rolle spielt.

Sieh Dir dazu bitte den Film 4 : Lichtabhängigkeitsversuch an. Zeichne auf dem Arbeitsblatt Deine Beobachtungen ein.

28 Ein Blick über Wiesen und Wälder zeigt uns, daß bei allen oberirdischen Pflanzenteilen die Farbe grün vorherrscht. Für die Versuche 1 bis 4 wurden Wasserpflanzen ausgesucht, die eine besonders kräftige Grünfärbung aufweisen.

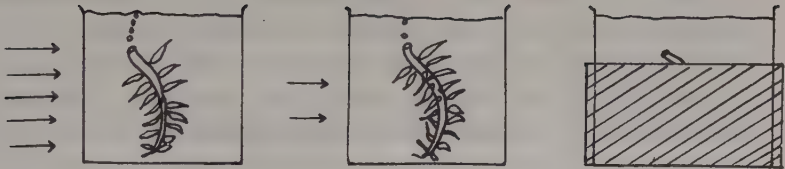
Außere eine Vermutung über den Zusammenhang von Blattgrün und Sauerstoffbildung.

Antwort in einem ganzen Satz!

1A a) Atmen oder Atmung b) Essen (Reihenfolge beliebig)

10 A a) Sauerstoffherzeuger b) Wasserpflanzen c) beobachten

19 A



28 A Das Blattgrün ist für die Sauerstoffbildung notwendig.

Oder : Nur Pflanzen mit Blattgrün können Sauerstoff erzeugen.

Oder : Ohne Blattgrün können die Pflanzen keinen Sauerstoff erzeugen.

2. Man atmet regelmäßig etwa sechzehnmal in der Minute. Wenn man etwa 5 Minuten a).....unterbrechen würde, dann würde man b).....

11 Sieh Dir nun bitte den Film 1 : Gasblasenversuch an. Bitte den Lehrer, ihn Dir zu zeigen, oder schließe Dich den anderen Schülern in der Klasse beim Zusehen an, die schon vor Dir an diese Stelle des Programms gekommen waren. Zeichne Deine Beobachtungen im Arbeitsblatt ein.

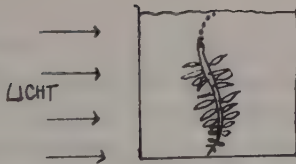
20 Die Wasserpflanze erzeugte bei starker Lichteinwirkung a) weniger dichte/dichte Perlenketten von Sauerstoffblasen. Dagegen stellt sich bei schwächerer Lichteinwirkung b) vereinzelte/viele Gasblasen her. Durch die Verdunklung konnte kein Licht auf die Wasserpest einwirken. Diesmal wurden c)..... Sauerstoffblasen produziert.

29 Die Hauptfarbe im Pflanzenreich ist a).....Sie wird vorwiegend in den b).....angetroffen. Bringt man eine Topfpflanze aus dem Licht ins Dunkle, so verfärben sich nach etlichen Wochen die Blätter. Sie werden :

- c) blasser in der Grünfärbung und schließlich weißlich-gelb
- d) kräftiger und satter in der Grünfärbung

2 A a) die Atmung oder das Atmen b) sterben

11 A



20 A a) dichte Perlenketten b) vereinzelte Gasblasen c)
keine

29 A a) grün b) Blättern

c) blasser in der Grünfärbung und schließlich weißlichgelb

3 Alle Lebewesen atmen, ob es nun Pflanzen, Tiere oder Menschen sind. Der Atmungsvorgang ist einer der wichtigsten Vorgänge im Bereich des Lebendigen.

Alle a).....müssen b).....

12 Bei der Belichtung einer a).....in diesem Fall Wasserpest (Elodea) steigt nach einiger Zeit ein Strom kleiner b).....-blasen an die c).....

Das Gas tritt besonders kräftig aus an den d) Schnittflächen/Blättern der Wasserpest aus.

Leider wissen wir nicht, ob das entstehende Gas tatsächlich Sauerstoff ist. Es gibt aber Methoden, um dieser Frage nachzugehen.

21. Pflanzen können nur bei a).....Sauerstoff erzeugen, Die Menge der Sauerstoffbildung hängt von der b).....-stärke ab. Bei c)stellen die Pflanzen die Sauerstofferzeugung ein.

30 Die a).....-färbung der Blätter wird bei Lichtentzug immer schwächer und verschwindet schließlich ganz. Wird die Topfpflanze, bevor sie eingegangen ist, wieder in das Licht gestellt, so erholt sie sich und die grüne Farbe in den Blättern b)kehrt zurück/ wird nicht wieder gebildet.

3 A a) Lebewesen b) atmen

12 A a) Wasserpflanze b) Gasblasen c) Wasseroberfläche
d) Schnittflächen

21 A a) Licht b) Lichtstärke c) Dunkelheit

30 A a) Grünfärbung b) kehrt zurück

4 Du weißt auch, daß man zur Atmung das Gas Sauerstoff benötigt.

Ohne a).....ist das Leben der b).....nicht möglich.
Lebewesen verbrauchen ständig dieses Gas. Sie sind also
c).....-verbraucher.

13 Wenn man nämlich einen glimmenden Holzspan in Sauerstoff bringt, dann flammt er hell auf.

Sieh Dir dazu den Film 2 : Glimmspanprobe an.

Wenn das von der Pflanze erzeugte Gas wirklich Sauerstoff ist, dann müßte der glimmende Holzspan beim Öffnen des Trichterhahns a).....denn jeder Verbrennungsvorgang wird durch das Gas b).....unterhalten oder angeregt.

22 Landpflanzen sind von Luft umgeben, die sie bei
a).....mit dem Gas b).....anreichern. Die Luft enthält aber nicht nur das Gas Sauerstoff, sondern auch das Gas Kohlendioxid und das Gas Stickstoff sowie in ganz geringen Mengen einige Edelgase. Der Stickstoff ist für das tierische Leben unbedeutend. Die Pflanzen können ihn nur in gebundener Form als Mineralsalz mit Hilfe von Wasser aus dem Boden aufnehmen.

Für die Landpflanzen wie auch für die Tiere und den Menschen sind die Gase c).....und Kohlendioxid der Luft von Bedeutung.

31 Die Schlußfolgerung liegt nahe, daß das Blattgrün der Pflanzen vom Sonnenlicht abhängig ist.

Die Versuche vorher zeigten, daß ebenso vom Sonnenlicht abhängt

- a) der Verbrauch von Sauerstoff
- b) die Bildung von Kohlendioxid
- c) die Bildung des Sauerstoffes

4 A a) Sauerstoff b) Lebewesen c) Sauerstoffverbraucher

13 A a) aufflammen b) Sauerstoff

22 A a) Tageslicht oder Licht oder Sonnenschein
b) Sauerstoff c) Sauerstoff

31 A c) die Bildung des Sauerstoffes

5 Hast Du Dir schon einmal die Frage gestellt, woher es kommt, daß es immer genug Sauerstoff zum Atmen gibt?

Wenn alle a)..... und davon wimmelt es auf der Erde, Verbraucher des Gases b).....sind, dann muß es auch Erzeuger des c).....geben.

14 Diese Glimmspanprobe kann nur mit einer größeren Menge Sauerstoff durchgeführt werden. Das Auffangen einer solchen Menge des von Wasserpestpflanzen abgegebenen Gases würde etliche Stunden oder sogar Tage dauern.

Daher verwendet man meist eine Sauerstoffnachweismethode, die "empfindlicher" ist, d.h. zu der man eine viel geringere Sauerstoffmenge benötigt.

Es ist die Indigocarminmethode. Dabei wird der Sauerstoff mit Hilfe einer Farbbänderung des Stoffes Indigocarmin nachgewiesen.

Sieh Dir bitte Film 3 : Indigocarminnachweis an.

Zeichne die Beobachtungen mit Farbstift in das Arbeitsblatt ein.

23 Im Wasser sind neben den anderen in der Luft enthaltenen Gasen das Kohlendioxid als Kohlensäure und der Sauerstoff in gelöster Form vorhanden. Wird das Wasser erhitzt, so steigen die Gase als Gasblasen an die Oberfläche und verflüchtigen sich.

Kreuze in der folgenden Aufzählung die richtige Antwort an:
Abgekochtes Wasser enthält

- a) viel gelöstes Kohlendioxid und Sauerstoffgas
- b) wenig gelöstes Kohlendioxid und Sauerstoffgas

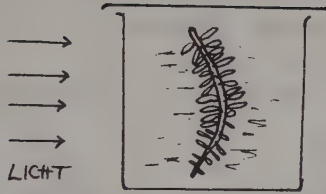
32 Nur bei Licht kann die Pflanze das Gas

- a).....erzeugen. Nur das Licht läßt die Pflanze die
- b).....Farbe (Blattgrün) herstellen.

Dann kann es auch sein, daß das Blattgrün bei der Sauerstoffbildung eine entscheidende Rolle spielt.

5 A a) Lebewesen b) Sauerstoff c) Sauerstoffes

14 A



23 A b) wenig gelöstes Kohlendioxid und Sauerstoffgas

32 A a) Sauerstoff b) grüne

6 Die Suche nach dem Sauerstofferzeuger auf der Erde wird noch wichtiger, wenn man bedenkt, daß auch Vorgänge Sauerstoff verbrauchen, die sich an nicht lebenden Gegenständen abspielen.

Eine Kerze kann nur brennen, wenn ihr ständig

a).....zugeführt wird. Der Motor eines Autos oder die Heizanlage im Haus sind Verbrennungsanlagen, die ohne Sauerstoff zum Erliegen kommen würden.

Jeder b).....-vorgang ist c).....-abhängig.

15 An den Blatt- und Schnittflächen der Wasserpest bilden sich blaue Schlieren, die sich verdichten und schließlich die Wasserpflanzen umhüllen. Das Entstehen der dunkelblauen Indigocarmin-Farbe ist ein Beweis dafür, daß die Wasserpestpflanzen unter Einwirkung von a)....., das Gas b).....abgegeben haben.

24 Es erhebt sich die Frage, ob auch das Kohlendioxid der Luft oder des Wassers für die Sauerstoffproduktion der Pflanzen von Bedeutung ist.

Sieh Dir dazu den Film 5 : Kohlendioxidabhängigkeitsversuch an.

Zeichne Deine Beobachtungen in das Arbeitsblatt ein.

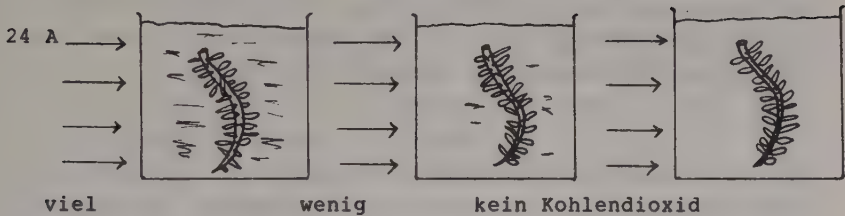
33 Tatsächlich hängt die Sauerstoffbildung der Pflanzen von dem Grün der Blätter ab. Ohne das a).....kann die Pflanze keinen b)..... erzeugen. Die Bildung des Blattgrüns ist wiederum abhängig von c).....

Sieh Dir nun bitte Film 6 : Blattgrünabhängigkeitsversuch an.

Formuliere Deine Beobachtungen in einem ganzen Satz.

6 A a) Sauerstoff b) Verbrennungsvorgang c)
sauerstoffabhängig

15 A a) Licht b) Sauerstoff



33 A a) Blattgrün b) Sauerstoff c) Licht

Nur an den Blättern des Alpenveilchens entstand die blaue Indigocarminfarbe.

Oder : An Wurzeln, Stengel und Blüten des Alpenveilchens wird kein Sauerstoff erzeugt und daher Indigocarmin nicht blau gefärbt

Oder : Nur an den grünen Teilen der Pflanze ist eine Blaufärbung zu beobachten.

oder sinngemäß ähnlich

7 Alles, was lebt, nämlich a).....b)..... und
c).....und alles, was etwas verbrennt, wie
d).....e)..... und f)..... ist vom Sauerstoff
g).....

Alle diese Lebewesen und Gegenstände sind h) Sauerstoff-..

16 Das perlfförmig an die Wasseroberfläche aufsteigende Gas
einer belichteten Wasserpest ist a).....

Das Experiment mit der Wasserpflanze soll stellvertretend
für das gesamte Pflanzenreich stehen. Mit diesem Versuch
ist unsere Frage von LE 8 nach den Sauerstoffherzeugern
beantwortet : Die b).....sind die c).....

25 Wie reagierte die Wasserpest mit ihrer
Sauerstoffproduktion auf den Kohlendioxidgehalt des Wassers?
Kreuze die Felder in der Tabelle des Antwortheftes an, die
Deine Beobachtungen wiedergeben.

SAUERSTOFFBILDUNG

	viele	keine	wenige
Sauerstoffblasen			

kohlendioxidfreies

Wasser

Wasser mit wenig

Kohlendioxid

Wasser mit

viel Kohlendioxid

34 Nun kennen wir schon drei Voraussetzungen für die
Erzeugung von Sauerstoff durch die Pflanzen

Sie benötigen hierfür :

a).....

b).....

c).....

7 A a) Tier b) Mensch c) Pflanze (Reihenfolge a - c beliebig) d) Kerze e) Motor f) Heizungsanlage (Reihenfolge d - f beliebig) g) abhängig h) Sauerstoffverbraucher

16 A a) Sauerstoff b) Pflanzen c) Sauerstofferzeuger

25 A

SAUERSTOFFBILDUNG

	viele Sauer-	keine	wenige
kohlendioxidfreies	stoffblasen		
Wasser		X	
Wasser mit wenig			
kohlendioxid			X
Wasser mit viel			
kohlendioxid	X		

34 a) Kohlendioxid b) Licht c) Blattgrün Reihenfolge a - c beliebig

8. Menschen in der Großstadt klagen manchmal über Sauerstoffmangel. Sie wandern in ihrer Freizeit durch die städtischen Grünanlagen oder nehmen weite Autoanfahrten in die Wälder der Umgebung in Kauf. Sie behaupten, sie müßten sich mit "Sauerstoff volltanken" und meinen, hierfür seien die a).....oder die b).....die geeigneten Aufenthaltsorte. Aus den Sauerstoffverbraucherzentren, den Großstädten, strömen die Menschen in die Welt der Pflanzen.

Es stellt sich hier die Frage, ob die c).....tatsächlich d).....-erzeuger sind.

17 Der Mensch und die Tiere sind als a) Sauerstoff-..... abhängig von den b) Sauerstoff-....., den Pflanzen. Kreuze in der folgenden Aufzählung die Vorschläge an, die Deiner Meinung nach richtig sind.

Es ist für die gesunde Lebensführung der Menschen in den Städten günstig, wenn

- c) Grünanlagen durch Neubauten ersetzt werden
- d) durch Abbruch alter Häuser zusätzlich Grünanlagen geschaffen werden
- e) gesunde Baumbestände erhalten werden.

26 Pflanzen benötigen zur Sauerstoffbildung a)..... Die b) Sauerstoff-.....kann durch eine Erhöhung des Kohlendioxidgehalts c).....werden. Landpflanzen beziehen das Kohlendioxid aus der d).....Wasserpflanzen aus dem e).....
Zwei Dinge sind also für die Sauerstoffbildung wichtig : f).....und g).....

35 Die Menge der Sauerstofferzeugung durch die Pflanzen hängt von verschiedenen Faktoren ab. Trage die Sauerstoffmenge wie folgt in die richtigen Kästchen ein :
kein Sauerstoff, wenig Sauerstoff, reichlich Sauerstoff

	A	B	C
Lichtstärke	kein Licht	schwaches Licht	intensiv. Licht
Kohlendioxidgehalt	kein Kohlen- dioxid	wenig Kohlen- dioxid	viel Kohlend.
Stärke des	kein Blatt grün	schwache Blatt grünfärbung	kräftige Blatt- grünfärb

8 A a) Grünanlagen b) Wälder (Reihenfolge beliebig) c)
Pflanzen
d) Sauerstofferzeuger

17 A a) Sauerstoffverbraucher b) Sauerstofferzeuger d)
wenn durch Abbruch alter Häuser zusätzlich Grünanlagen
geschaffen werden
e) wenn gesunde Baumbestände erhalten werden

26 A a) Kohlendioxid b) Sauerstoffbildung c) gesteigert
oder erhöht d) Luft e) Wasser f) Sonnenlicht g)
Kohlendioxid (Reihenfolge von f und g beliebig)

35 A	A	B	C
	kein Sauerstoff	wenig Sauerstoff	reichlich S.
	kein Sauerstoff	wenig Sauerstoff	reichlich S.
	kein Sauerstoff	wenig Sauerstoff	reichlich S.

9 Die Pflanzen können wir nicht auf die uns gewohnte Art fragen, denn sie können nicht antworten. Stellen wir uns vor sie hin und beobachten wir sie, dann hilft uns dies auch nicht weiter, denn der nachzuweisende Sauerstoff ist mit unseren Sinnen nicht erkennbar; wir können ihn weder schmecken noch riechen noch sehen.

Sauerstoff ist geschmacklos, a)..... und b).....

So ist nur eine Befragung durch Experimente möglich.

c).....mit den Pflanzen sollen uns auf der Suche nach dem

d).....-erzeuger zu einer Antwort führen.

18 Die Pflanzen sind durch die Fähigkeit, das Gas a)....zu erzeugen, die Erhalter allen tierischen Lebens auf der Erde, also auch des Lebens der b).....

Welches sind die günstigsten Bedingungen, unter denen die Pflanzen das für uns so wichtige Gas Sauerstoff erzeugen? Kann der Mensch diese Bedingungen positiv beeinflussen?

27 Das Kohlendioxid kommt normalerweise in der Luft nur in sehr geringen Mengen vor. Luft mit einem hohen Gehalt an Kohlendioxid ist giftig.

Die Blätter der Pflanzen verarbeiten die gleiche Menge Kohlendioxid, wie sie Sauerstoff erzeugen.

Die Pflanzenwelt ist nicht nur für die a).....-erzeugung von großer Bedeutung, sondern auch für die Reinigung der Luft durch die Aufnahme von b).....

36 Für die Menschen wichtig ist die Feststellung, daß die Pflanzenteile, die a).....sind ,tatsächlich das Gas b).....abgeben und das Gas c).....aufnehmen. Dieser Vorgang läuft freilich nur bei Sonnenlicht, also am Tage ab. Die grünen d)reichern die Luft mit e) an und reinigen sie durch Aufnahme von f) Sauerstoff ist als Atemgas für uns notwendig. Je mehr grüne Pflanzen uns tagsüber umgeben, desto g)-reichere Luft atmen wir ein.

9 A a) unsichtbar b) geruchlos (Reihenfolge beliebig) c)
Experimente d) Sauerstofferzeuger

weiter auf S.1

18 A a) Sauerstoff b) Menschen

weiter auf S.1

27 A a) Sauerstofferzeugung b) Kohlendioxid

weiter auf S.1

36 A a) grün b) Sauerstoff c) Kohlendioxid d) Pflanzen e)
Sauerstoff f) Kohlendioxid g) sauerstoffreichere

Wenn Du früher als die anderen Deiner Klasse an dieser
Stelle angekommen bist, dann nütze die Zeit bitte dazu,
einzelne Lernschritte zu wiederholen, vor allem die, bei
denen Du Fehler gemacht hast.

Wenn Du meinst, Du hättest den Inhalt des Lernprogramms gut
verstanden und könntest ihn behalten, dann überlege Dir,
welche Anwendungsmöglichkeiten für das Gelernte Du im
Alltag finden kannst.

ANLAGE 3 Arbeitsheft zum Lernprogramm für die 7. Klassen

Arbeitsheft

- 1 a) b)
 2 a) b)
 3 a) b)
 4 a) b) c)
 5 a) b) c)
 6 a) b) c)
 7 a) b) c) d)
 8 a) b) c) d)
 9 a) b) c) d)
 10 a) b) c)

11



- 12 a) b) c) d)

- 13 a) b)

14



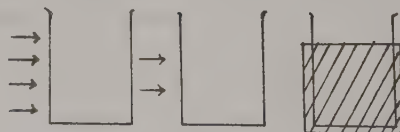
- 15 a) b)

- 16 a) b)

- 17 a) b) c) d) e)

- 18 a) b)

19



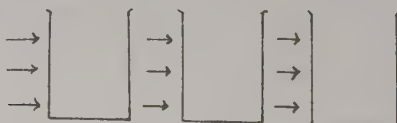
- 20 a) b) c)

- 21 a) b) c)

- 22 a) b) c)

- 23 a) b)

24



25

SAUERSTOFFBILDUNG

viele Sauer- keine Sauer- wenige S.
stoffblasen stoffblasen stoffbl.

kohlendioxid-
freies Wasser

Wasser mit
wenig Kohlen-
dioxid

Wasser mit
viel Kohlen-
dioxid

26 a) b) c) d)
e) f) g)

27 a) b)

28

29 a) b) c) d)

30 a) b)

31 a) b) c)

32 a) b)

33 a) b) c)

Film 6:

34 a) b) c)

35

A

B

C

Lichtstärke
Kohlendioxid
Blattgrün

36 a) b) c) d)
e) f) g)

ANLAGE 4

Anweisungen für die Lehrer der 12. Klassen und geplanter Unterrichtsverlauf

Sehr geehrter Herr/Frau.....

zunächst möchten wir Ihnen danken, daß Sie sich bereit erklärt haben, bei dieser Untersuchung mitzuwirken. Es sollen zwei verschiedene Lehrmethoden in ihrer Lernwirksamkeit auf zwei verschiedenen Altersstufen untersucht werden. Um dabei vom etwa gleichen Lehrstoff ausgehen zu können, wählten wir das Thema Photosynthese.

Natürlich wissen wir, daß Sie als erfahrener Lehrer das Thema Photosynthese oft gelehrt haben und dazu keiner Anleitung bedürften. Um aber dem Grundsatz der "verschiedenen Lehrmethoden" Rechnung zu tragen, bitten wir Sie, sich so genau wie möglich an die angegebene Gliederung zu halten. Sie sollten auf jeden Fall jeden einzelnen Gliederungspunkt der auf der Folie angeführt ist, genau besprechen. Weitergehende Anleitungen finden Sie im Anschluß. Es sind Hinweise. Die genaue Durchführung im Einzelnen bleibt Ihnen überlassen.

Bevorzugen Sie bitte die fragend-entwickelnde Unterrichtsform. Gestalten Sie den Unterricht so interessant wie möglich, verwenden Sie aber keinesfalls zusätzliche Lehrmittel, keine Zeichnungen an der Tafel, keine Dias, keine Wandbilder oder sonstige Abbildungen, außer den von mir vorgegebenen Folien, um die Vergleichbarkeit des Unterrichts zu gewährleisten.

Zum Vortest sollten Sie an Ihre Schüler kurz ein paar Worte richten, weil es unüblich ist, einen Test über einen noch nicht besprochenen Stoff zu schreiben. Erwähnen Sie die Versuchssituation, aber stellen Sie sie nicht zu sehr heraus.

Sagen Sie den Schülern bitte, daß am Ende der Unterrichtseinheit nochmal ein Test folgt, der benotet wird. Damit soll erreicht werden, daß die Schüler dies nicht als Experiment, sondern als normale Unterrichtssituation auffassen. Die spätere Gewichtung dieses Tests bleibt selbstverständlich Ihnen überlassen.

Die in der Untersuchung verwendeten Kurzfilme sind den beiden Filmen : Photosynthese, Sauerstoffentwicklung : Blattgrün und CO₂-Angebot und Sauerstoffentwicklung : Lichtabhängigkeit (Klett 999029 und 999019 bzw FWU) entnommen. Es gibt einen Zusammenschnitt in genau der im Versuch benötigten Reihenfolge. Aus Kostengründen konnten wir aber nicht so viele Kopien herstellen, daß jeder Lehrer eine eigene zur Verfügung hat. Falls sich - was wir nicht hoffen - die Versuche so überschneiden, daß wir Ihnen die Kopie nicht rechtzeitig zustellen können, möchten wir Sie bitten, die entsprechenden Filmabschnitte den angegebenen Filmen zu entnehmen.

Nun wünschen wir Ihnen und Ihren Schülern ein wenig Spaß und viel Erfolg.

PHOTOSYNTHESE

Die O_2 -Entwicklung in Abhängigkeit von verschiedenen Faktoren

1. MOTIVATION

- Die wichtigsten lebenerhaltenden Tätigkeiten sind Essen und Atmen. Man kann nicht viel länger als 1 - 2 Min. die Atmung unterdrücken.
 O_2 muß ständig dem Körper neu zugeführt werden und wird bei der Atmung verbraucht. Daneben verbrauchen alle Verbrennungsvorgänge (Holz, Kohle Öl, Benzin u.ä.) ebenfalls Sauerstoff
- Die CO_2 -Konzentration unserer Luft nimmt sehr stark zu dadurch, daß wir als Hauptenergiequellen für elektrischen Strom und Bewegungsenergie im Moment kohlenstoffhaltige Stoffe verbrennen.
- Eine Erhöhung der CO_2 -Konzentration könnte evtl. Klimaveränderungen bewirken.
- Unser Körper reagiert sehr empfindlich auf Schwankungen im CO_2 -Gehalt der Atemluft; CO_2 -sensible Rezeptoren spielen eine wichtige Rolle bei der Regulierung der Atemfrequenz.

Da bekanntlich die Pflanzen bei der Photosynthese CO_2 aufnehmen und O_2 abgeben, sind sie die wichtigsten O_2 -Lieferanten, die den vielfältigen O_2 -verbrauchenden Vorgängen entgegenwirken können. Interessant ist nun, ob und wie dieser höchst wichtige Vorgang günstig beeinflussbar ist.

Dies ist sowohl wichtig für die Luftqualität als auch für das Gedeihen der Pflanzen, also unsere Ernährung.2.

LÖSUNGSPLANUNG

- Man setzt Pflanzen nun verschiedenen Bedingungen aus, von denen man erwartet, daß sie eine Rolle für die Photosynsetätigkeit spielen (Vorschläge sammeln)
- um die Photosynsetätigkeit messen zu können, muß man ein geeignetes Meßverfahren haben (Vorschläge)

3. ERARBEITUNG

3.1 Nachweis der O_2 -Entwicklung

Als farb- und geruchloses Gas kann der Sauerstoff nicht direkt, sondern nur experimentell nachgewiesen werden. Da er sich leicht verflüchtigt, ist er überdies in einer einfachen Versuchsanordnung an Landpflanzen nicht einfach aufzufangen. Besser geeignet sind Wasserpflanzen. Der von ihnen gebildete Sauerstoff löst sich in Wasser nur in geringem Maße; der Rest steigt als Gasblasen auf und kann leicht aufgefangen werden. Man verwendet dafür eine beliebte Aquarienpflanze, die Wasserpest (lat. Elodea). Sie

zeichnet sich dadurch aus, daß bei ihr neben den Blättern auch der Stengel grün ist und Hohlraumssysteme enthält, in denen sich der Sauerstoff sammelt. Er kann dann an Schnitt- und Bruchstellen austreten.

3.1.1 Gasblasenversuch

Man gibt die Elodeapflanzen in ein Glasgefäß mit Leitungswasser und beleuchtet sie mit einer hellen Lampe.
Ergebnis : kleine Gasblasen steigen auf; sie sind farb- und geruchlos; ihre genaue Natur muß erst nachgewiesen werden
Interpretation : über die genaue Natur des Gases kann noch nichts ausgesagt werden.
3.1.2 Glimmspanprobe
Die aufsteigenden Gasblasen werden in einen Trichter geleitet und an dessen Ende pneumatisch aufgefangen. Zur Durchführung der Glimmspanprobe hält man einen noch glühenden Holzspan oder eine glühende Zigarette in den Strom des aufgefangenen Gases.

Ergebnis : der Glimmspan, bzw. die Zigarette glühen hell auf.

Interpretation : es handelt sich um Sauerstoff, da er die Verbrennung unterhält.

Diese Nachweismethode hat einen entscheidenden Nachteil. Man braucht dafür nämlich so viel Sauerstoff, daß die Pflanzen, um ihn zu erzeugen, Stunden, evtl. sogar Tage brauchen.

Es gibt eine Farbreaktion, die weitaus weniger Sauerstoff erfordert, d.h. die empfindlicher ist.

3.1.3 Farbreaktion mit Indigocarmin

Man gibt zu einer Elodeapflanze ins Glasgefäß Leitungswasser, das mit etwas reduziertem Indigocarmin versetzt wurde. In dieser Form ist Indigocarmin farblos.
Ergebnis : Beim Belichten der Pflanze färbt sich nach kurzer Zeit das Indigocarmin überall dort blau, wo Gasblasen entstehen. Die oxidierte Form des Indigocarmin ist blau.

Interpretation : bei den Gasblasen handelt es sich um Sauerstoff.

Zusammenfassung: Pflanzen erzeugen bei Belichtung Sauerstoff. Alle Lebewesen, also Menschen, Tiere und Pflanzen erhalten den für ihre Atmung wichtigen Sauerstoff aus den Pflanzen. Je mehr Pflanzen in der Umgebung sind, umso sauerstoffhaltiger ist die Luft.

Nun wäre es natürlich interessant herauszufinden, ob dieser Vorgang der O_2 -Erzeugung der Pflanzen von äußeren Einflüssen günstig verändert werden könnte.

3.2 Lichtabhängigkeit

Bei den vorangegangenen Versuchen wurde immer Licht verwendet. Außerdem kann man leicht zeigen, daß eine Pflanze im Dunkeln verkümmert.

Da das Licht offensichtlich eine Rolle spielt, kann man eine Versuchsanordnung wählen, bei der gezeigt wird, daß die Sauerstoffentwicklung tatsächlich mit der Lichtintensität zusammenhängt.

Lichtabhängigkeitsversuch:

Man gibt drei einzelne gleich große Wasserpestpflanzen in drei verschiedene Glasgefäße mit Leitungswasser. Dabei ordnet man die Pflanzen so an, daß ein frisch abgeschnittenes Sproßende nach oben ragt. Aus ihm kann dann der sich entwickelnde Sauerstoff austreten in Form von kleinen Gasblasen. Eines der drei Gefäße setzt man nun starkem Licht aus.

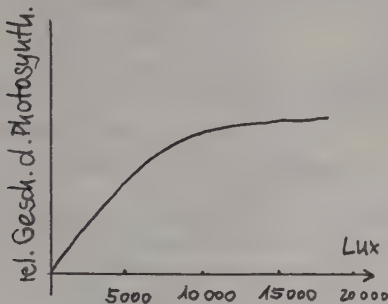
Das zweite beleuchtet man nur schwach.

Das dritte wird mit schwarzem Papier so umhüllt, daß man nur mehr das abgeschnittene Sproßende erkennen kann.

Ergebnis : Zählt man nun eine Minute lang die austretenden Gasblasen, so sind es im hell erleuchteten Gefäß am meisten, weit weniger im schwach beleuchteten und im verdunkelten gar keine.

Interpretation : Je intensiver die Beleuchtung, umso stärker die Sauerstoffentwicklung; ohne Licht keine Sauerstoffentwicklung.

Eine genaue Untersuchung der Abhängigkeit der O_2 -Entwicklung von der Lichtstärke ergab folgende Abhängigkeit:



- ohne Licht erfolgt keine O_2 -Entwicklung
- Bei einer Lichtintensität zwischen 3000 und 10000 Lux erfolgt eine starke Steigerung der O_2 -Entwicklung
- über 10000 Lux kann keine Steigerung der O_2 -Entwicklung mehr erfolgen. Es wird ein Sättigungswert erreicht.

Im einzelnen kann der Sättigungswert je nach Pflanzenart schwanken.

3.3 CO_2 -Abhängigkeit

Die Pflanzen sind ständig von Luft umgeben. Diese enthält außer O_2 auch N_2 , CO_2 und Edelgase (neben rel. geringen Mengen anderer Stoffe). Während Stickstoff in der Regel in Wasser gelöst (z.B. als NO_3^-) aufgenommen wird und die Edelgase keinen Einfluß haben, spielt das CO_2 bei der O_2 -Erzeugung eine wichtige Rolle.

Dies kann man wieder besonders gut an Wasserpflanzen zeigen, weil sich CO_2 in Wasser löst, während es sich in der Luft als farb- und geruchloses Gas leicht verflüchtigt. Wie bei allen Gasen nimmt die Wasserlöslichkeit mit steigender Temperatur ab; d.h. wenn man das Wasser kocht, vertreibt man die in ihm gelösten Gase weitgehend und damit auch das CO_2 .

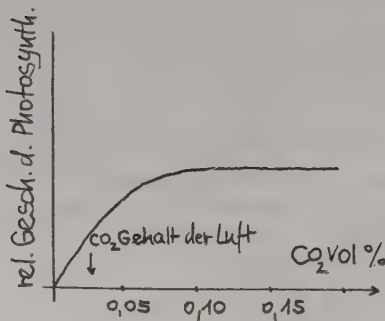
CO_2 -Abhängigkeitsversuch

Man gibt wieder drei gleich große Wasserpflanzen in drei verschiedenen Glasgefäße. Dann füllt man einmal abgekochtes (und anschließend abgekühltes), einmal Leitungs- und einmal Sprudelwasser (CO_2 -angereichertes) ein und gibt entfärbtes Indigocarmin zu. Dann werden die Gefäße gleich stark einige Zeit belichtet.

Ergebnis : im abgekochten, CO_2 -armen Wasser keine Blaufärbung, im Leitungswasser eine geringe Blaufärbung, im Sprudel starke Blaufärbung

Interpretation: ohne CO_2 keine O_2 -Entwicklung, wenig CO_2 in der Umgebung führt zu geringer O_2 -Entwicklung, viel CO_2 führt zu einer starken O_2 -Entwicklung

Eine genaue Untersuchung der O_2 -Entwicklung von CO_2 -Gehalt des umgebenden Gasraumes ergibt :



-Bei einer Erhöhung der CO_2 -Konzentration von 0,01 auf ca. 0,05 Vol% steigt die Photosynthese stark an

-über 0,10 Vol% ist ein Sättigungswert erreicht. Dabei fällt auf, daß die normalerweise in der Atemluft vorherrschende CO_2 -Konzentration noch nicht die optimale darstellt. Der Sättigungswert der Photosynthese wird erst bei höheren Werten erreicht.

Manche Gärtner leiten tatsächlich zusätzlich CO_2 in ihre Treibhäuser, um den Ertrag zu steigern. Eine allgemein höhere CO_2 -Konzentration der Atemluft wäre für Tiere und Menschen aber schädlich (Ansäuerung des Blutes, erschwerte O_2 -Abgabe usw.). Da die Pflanzen bei der O_2 -Erzeugung CO_2 aufnehmen und O_2 abgeben, betätigen sie sich als Luftverbesserer.

3.4 Blattgrünabhängigkeit

Grün ist die charakteristische Farbe der Pflanzen. Bringt man eine grüne Pflanze ins Dunkle, so verfärbt sie sich nach einiger Zeit und wird gelblich-weiß. Erneute Lichtgaben (bevor die Pflanze zu stark geschädigt wurde) führen zu einer Rückbildung der grünen Farbe. Damit ist gezeigt, daß das Licht und die Blattgrünbildung zusammenhängen. Ob nun auch die O_2 -Bildung mit der grünen Farbe zusammenhängt, soll ein Versuch zeigen.

Blattgrünabhängigkeitsversuch

Ein Alpenveilchen wird für kurze Zeit unter Wasser in ein Glasgefäß gesetzt. Das Wasser enthält reduziertes Indigocarmin und genügend CO_2 . Man belichtet ausreichend.

Ergebnis : Blaufärbung erfolgt nur an den Blättern des Alpenveilchens; die Blüte, die Wurzeln und die Stengel erzeugen keine Blaufärbung des Wassers durch oxidiertes Indigocarmin

Interpretation : Sauerstoff wird nur an grünen Pflanzenteilen erzeugt.

4. FESTIGUNG DER ERGEBNISSE

Damit sind drei Vorbedingungen für die O_2 -Entwicklung gezeigt worden, nämlich

- Licht einer best. Intensität
- Kohlendioxid in einer best. Konzentration
- Blattgrün

Die Gliederung und die genaue Zusammenfassung ist der Folie zu entnehmen und sollte von den Schülern aufgeschrieben werden.

5. VERTIEFUNG UND AUSWEITUNG

Aus diesen Erkenntnissen ergeben sich für die Behandlung von Pflanzen, vor allem auch von Nutzpflanzen verschiedene Konsequenzen.

Beispiele :

- In Gebieten mit ständiger starker Nebelbildung ist u.U. die Lichtintensität zu gering.
- In Geschäfts- und Wohnräumen ohne Fenster muß für eine genügend intensive künstliche Beleuchtung gesorgt werden, wenn die Pflanzen gedeihen und zur Luftverbesserung beitragen sollen.
- Pflanzen können v.a. auch in stehenden Gewässern für die O_2 -Versorgung einen wesentlichen Beitrag leisten
- Ein Blässerwerden der grünen Pflanzenteile weist meist auf eine Schädigung der Pflanze hin z.B. durch Pilze, Mangelerscheinungen, saugende Insekten u.ä.

usw. usw.

Endlich stellt sich auch noch die Frage, ob diese drei Vorbedingungen (Licht, CO_2 , Blattgrün) für die Photosynthese allein verantwortlich sind, oder ob noch andere Faktoren eine Rolle spielen. Dies müßte in zusätzlichen Versuchen überprüft werden (Wasser, Temperatur, Lichtqualität).

HINWEIS

Der geplante Zeitverlauf

EINZELSTUNDE :- kurze Einführung
Vortest max 10 - 15 Min.
Besprechung des 1. Teils (Nachweis der O_2 -Entwicklung)
(Programme unbedingt einsammeln)
DOPPELSTUNDE :- Besprechung des übrigen Stoffes
kurze Pause
Nachtest ca. 20 Minuten

Natürlich können Sie selber am besten sehen, wie lange Sie mit Ihrem Kurs brauchen, ohne zu hetzen oder den Stoff zu lange auszudehnen; sollten Sie länger brauchen, geben Sie bitte keinesfalls Hausaufgaben. Sammeln Sie bitte unbedingt die Programme am Ende der Stunde ein.
Es wird vielleicht nicht ganz zu vermeiden sein, aber die Schüler sollten außerhalb des Unterrichts nichts nachlernen, um das Ergebnis (Programm gegenüber Unterricht mit und ohne Film) nicht zu verfälschen.

Würden Sie es bitte auf diesem Abschnitt vermerken, wenn Sie viel mehr oder weniger Zeit gebraucht hätten oder Ihnen sonst irgendetwas miß-, ein- oder aufgefallen ist/hat.

Korrekturvorlage zum Test : Photosynthese und ihre Abhängigkeit von verschiedenen Außenfaktoren

1. CO ₂	1
2. x c) x d)	4
3. der Nachweis ist empfindlicher, braucht weniger Substanz o.ä.	1
4. gemeint ist die Menge des erzeugten Sauerstoffs Indigocarminfärbung oder Bläschenmethode	2
5. weil sie zu wenig CO ₂ hat; beim Kochen entweichen die im Wasser gelösten Gase	2
6. a)	4
7. a) Pflanze II erreicht ihren Sättigungswert schon bei geringeren Lichtintensitäten (steilerer Anstieg) Pflanze I hat einen flacheren Kurvenanstieg, benötigt also etwas höhere Lichtintensitäten für die gleiche Photosyntheserate o.ä.	2
b) Pflanze II kommt vermutlich an Orten geringerer Lichtintensität vor, Pflanze I in Gegenden mit höherer Lichtintensität	2
8. a) Atmung, Verbrennung	1
b) Ja, weil der übliche CO ₂ -Gehalt nicht zur optimalen Photosyntheserate führt	2
9. zu wenig Licht, zu wenig CO ₂	2
10. Bei schwacher Beleuchtung erreicht die Pflanze trotz Steigerung der CO ₂ -Konzentration nur einen niedrigen Sättigungswert o.ä.	2
11. des CO ₂ oder der Lichtintensität; Sättigungswert	2
12. c); d); e)	5
	32

ANLAGE 5

Lernprogramm nach B. Heigl 1981 für die 12. Klassen

PHOTOSYNTHESE

Sauerstoffentwicklung in Abhängigkeit von verschiedenen Faktoren

LERNPROGRAMM

ANLEITUNG ZUR BENÜTZUNG DES PROGRAMMS

Ein Programm gibt Ihnen die Möglichkeit, selbständig einen Unterrichtsstoff zu erarbeiten, wobei Sie den anwesenden Lehrer aber natürlich bei Bedarf fragen können.

Der Stoff ist in 35 Lerneinheiten (LE) eingeteilt.

Auf jeder Seite finden Sie 4 LE.

Die vor jeder LE stehenden Zahlen geben die Reihenfolge der Bearbeitung an.

Jede LE wird in folgender Reihenfolge erarbeitet:

1. LE gründlich lesen
2. Lösung in das Arbeitsheft eintragen
3. eigene Lösung mit der Lösung auf der nächsten Seite des Programmheftes vergleichen
4. bei falscher Lösung LE nochmal durchlesen
5. falsche Lösung im Arbeitsheft sorgfältig verbessern
6. zur nächsten LE übergehen.

Natürlich kann man das Programm sehr schnell dadurch bearbeiten, daß man mogelt, d. h. die Lösung immer gleich nachschlägt. Dadurch hätten Sie aber natürlich am Ende keinerlei Lernerfolg.

Wenn Sie eine Stelle im Programm gelangen, bei der Sie einen Kurzfilm ansehen sollen, so sagen Sie dem anwesenden Lehrer Bescheid bzw. schließen sich beim Zusehen den Mitschülern an, die schon etwas vor Ihnen an dieser Stelle des Programms angelangt waren.

1 Atmen und Essen sind für Sie selbstverständliche Tätigkeiten. Dennoch sind sie unmittelbar lebenserhaltend.

Wie lange können Sie etwa Ihre Atemtätigkeit unterdrücken?

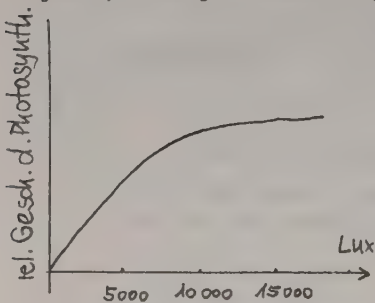
9 Bei der Belichtung einer a).....-pflanze, in diesem Fall Wasserpest, steigt nach einiger Zeit ein Strom kleiner b)..... an die c).....

Über die chemische Natur des Gases ist damit allerdings noch nichts ausgesagt.

Der Sauerstoffnachweis wird mit der

d)Glimmspan-/Knallgasprobe durchgeführt.

17 Mißt man die Photosyntheseaktivität (Menge der O₂-Produktion) in Abhängigkeit von der Lichtintensität genau, so ergibt sich folgender Zusammenhang :



Das bedeutet

-ohne Licht a).....

-bei Lichtstärken von 3000-10000 Lux ein

b) steiler/flacher Anstieg

c) keine/starke Steigerung möglich.

25 Bei den Pflanzen herrscht in der Regel die Farbe grün vor. Für die vorangegangenen Versuche wurden Pflanzen ausgesucht, die eine besonders kräftige Grünfärbung aufwiesen.

Äußern Sie eine Vermutung über den Zusammenhang von Blattgrün und Sauerstoffbildung:.....-

1 A ca. 2 Minuten

9 A a) Wasserpflanze b) Gasblasen
c) Wasseroberfläche d) Glimmspanprobe

17 A a) keine Photosynthese (O_2 -Erzeugung)
b) steiler
c) keine

25 A Blattgrün ist für die Sauerstoffbildung wichtig o.ä.

2 Wenn Sie Ihre Atmung fünf Minuten lang unterbrechen würden, würden Sie a).....

In Ruhe atmet man ca. 16x pro Minute

Vor allem unser Gehirn braucht ständig neuen Sauerstoff, denn es kann ihn nicht b).....

10 Das wenige Gas, das aus der Wasserpest herausperlt und in die Luft gelangt, genügt aber für diesen Versuch nicht. Mit Hilfe eines Glastrichters jedoch, den man umgekehrt über die Wasserpest stülpt und am Trichterhals mit einem Hahn verschließt, kann das Gas in größeren Mengen aufgefangen werden.

Sehen Sie sich dazu den Film : Glimmspanprobe an.

Füllen Sie im Anschluß daran folgenden Lückentext aus.

Der glimmende Holzspan wird beim Austritt des angesammelten Gases a).....Jeder Verbrennungsvorgang wird nämlich von b)gefördert

18 Landpflanzen sind von Luft umgeben, die sie bei a).....mit dem Gas b).....anreichern.

Die Luft enthält daneben noch Kohlendioxid, Stickstoff und Edelgase (neben rel. geringen Mengen anderer Stoffe).

Während Stickstoff in der Regel von den Pflanzen nur in gebundener Form, z. B. als Nitrat mit dem Wasser aus dem Boden aufgenommen wird, haben die Edelgase keinen Einfluß. Das Kohlendioxid (CO_2) spielt für die Pflanzen eine besonders wichtige Rolle.

26. Die Hauptfarbe im Pflanzenreich ist a)....Sie wird vorwiegend in den b).....angetroffen, kann sich aber auch auf andere Pflanzenteile erstrecken, wie z. B. den Stengel. Bringt man eine Pflanze aus dem Licht ins Dunkle, so verfärben sich nach etlichen Wochen die Blätter. Sie werden bei Lichtabschluß:

a) blasser in der Grünfärbung und schließlich weißlich-gelb

b) kräftiger und satter in der Grünfärbung

(Bitte kreuzen Sie das Ihnen richtig erscheinende an.)

- 2 A a) sterben, ersticken o.ä.
b) speichern

- 10 A a) entzündet, entflammt o.ä.
b) Sauerstoff

- 18 A a) Belichtung
b) Sauerstoff

- 26 A a) Grün
b) Blätter
x a)

3 Bei der Atmung wird Sauerstoff (O_2) im Körper verbraucht. Außer dem Menschen verbrauchen auch die Tiere und Pflanzen Sauerstoff und dazu noch sämtliche Verbrennungsvorgänge.

Kreuzen Sie im folgenden Text an wer/was alles unmittelbar Sauerstoff verbraucht

- a) ein laufender Automotor
- b) ein Radfahrer
- c) ein blühender Birnbaum
- d) eine brennende Glühbirne
- e) ein brennender Öfen
- f) eine schlafende Katze

11 Ein anderer Sauerstoffnachweis kann schon mit geringeren Substanzmengen durchgeführt werden. Dabei nimmt man eine Farbreaktion mit Indigocarmin zur Grundlage. Sehen Sie sich dazu den dritten Film an: Farbreaktion mit Indigocarmin. Halten Sie Ihre Beobachtung in einer Skizze fest.

19 In Wasser sind neben den anderen in der Luft enthaltenen Gasen das Kohlendioxid und Sauerstoff in gelöster Form vorhanden.

Wird das Wasser erhitzt, so steigen die Gase als Gasblasen an die Oberfläche und verflüchtigen sich.

Die Löslichkeit der Gase in Wasser nimmt also

- a) bei steigender Temperatur zu
- b) bei fallender Temperatur ab
- c) bei steigender Temperatur ab

27 Die a).....-färbung der Blätter wird bei Lichtentzug immer schwächer und verschwindet schließlich ganz. Wird die Topfpflanze, bevor sie eingegangen ist, wieder in das Licht gestellt, so erholt sich die grüne Pflanze und die grüne Farbe b) kehrt zurück/ wird nicht wieder gebildet.

3 A x a)

x b)

x c)

x e)

x f)

11 A



19 A x c)

27 A a) Grünfärbung

b) kehrt zurück

4 Wenn also so viele Lebewesen und Verbrennungsvorgänge ständig a).....verbrauchen, fragt man sich, warum der Sauerstoffgehalt der Luft nicht langsam b).....

12 An den Blatt- und Schnittflächen der Wasserpest bilden sich blaue Schlieren, die sich verdichten und schließlich die Wasserpflanzen umhüllen. Die Entstehung der dunkelblauen Indigocarminfarbe ist ein Beweis dafür, daß die Wasserpestpflanzen unter Einwirkung von a).....das Gas b).....abgegeben haben.

20) Um nun zu prüfen, ob das CO_2 der Luft bzw. bei Wasserpflanzen des Wassers für die O_2 -Produktion wirklich von solcher Bedeutung ist, kann man folgenden Versuch durchführen:

Sehen Sie sich dazu Film 5 an, den Kohlendioxidabhängigkeitsversuch.

Beobachten Sie in dem Film genau die Sauerstoffproduktion bei

- abgekochtem Wasser
- Leitungswasser
- CO_2 -angereichertem Wasser (Sprudel)

28 Die Schlußfolgerung liegt nahe, daß das Blattgrün der Pflanzen vom Sonnenlicht abhängig ist.

Die Versuche in den vorangegangenen Filmen zeigten, daß ebenso vom Sonnenlicht abhängt:

- a) der Verbrauch von Sauerstoff
- b) die Bildung von Kohlendioxid
- c) die Bildung des Sauerstoffs

- 4 A a) Sauerstoff
b) abnimmt o.ä.

- 12 A a) Licht
b) Sauerstoff

- 20 A abgekochtes Wasser : keine Blaufärbung
Leitungswasser : geringe Blaufärbung
CO₂-angereichertes Wasser (Sprudel) : intensive,
schnelle Blaufärbung

- 28 A x c)

5 Da der Sauerstoffgehalt der Luft aber seit langer Zeit auf der Erde rel. konstant ist, muß es neben den vielen Sauerstoffverbrauchern auch irgendetwas geben, was den Sauerstoff a).....

Dies geschieht durch

- a) Zersetzungen in der Erdatmosphäre
- b) aus Erdspalten strömende Gase
- c) Verrottung abgestorbener Tier- und Pflanzenteile
- d) die Photosynthese der Pflanzen

Kreuzen Sie bitte an, was Ihnen richtig erscheint.

13 Durch die Experimente in den Filmen 2 und 3

(Glimmspanprobe und Farbreaktion mit Indigocarmin) ist nachgewiesen, daß die Wasserpest a)erzeugt. Sie steht dabei stellvertretend für das gesamte Pflanzenreich. Pflanzen sind also wirklich die b).....

Kreuzen Sie in der folgenden Aufzählung die Vorschläge an, die Ihrer Meinung nach richtig sind.

Es ist für die gesunde Lebensführung der Menschen in den Städten günstig

- c) wenn Grünanlagen durch Neubauten ersetzt werden
- d) wenn durch das Abholzen von Bäumen in Wohngebieten eine möglichst licht- und luftdurchströmte Umgebung geschaffen wird
- e) wenn durch Abbruch baufälliger alter Häuser zusätzlich Grünanlagen geschaffen werden
- f) wenn gesunde Baumbestände erhalten werden

21 Die Pflanzen benötigen zur O_2 -Bildung also auch a)..... Die Sauerstoff-b).....kann durch eine Erhöhung des Kohlendioxidgehaltes c).....werden. Landpflanzen beziehen das Kohlendioxid aus der d)....., Wasserpflanzen aus dem e)..... Zwei Dinge sind also für die Sauerstoffbildung wichtig : f)..... und g).....

29. Nur bei Licht kann die Pflanze das Gas a).....erzeugen. Nur das Licht läßt die Pflanze die b).....Farbe (Blattgrün) herstellen. Dann kann es auch sein, daß das Blattgrün bei der Sauerstoffbildung eine entscheidende Rolle spielt.

- 5 A a) herstellt o.ä.
x d)

- 13 A a) Sauerstoff
b) Sauerstofferzeuger
x e)
x f)

- 21 A a) Kohlendioxid b) Sauerstoffbildung
c) erhöht d) Luft e) Wasser
f) Licht g) Kohlendioxid (f und g Reihenfolge
beliebig)

- 29 A a) Sauerstoff
b) grüne Farbe

6. Pflanzen sind also die Sauerstofferzeuger.

Dies nachzuweisen ist deshalb nicht so einfach, weil Sauerstoff ein farb-, geruch- und geschmackloses Gas ist. Er kann also nicht direkt mit unseren a).....wahrgenommen werden, sondern muß indirekt über b).....erst wahrnehmbar gemacht werden.

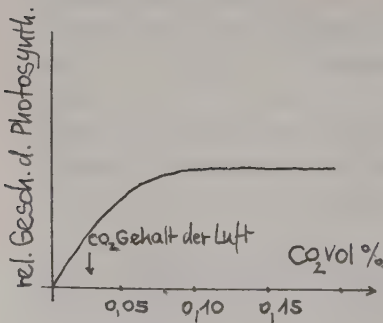
14 Wenn nun die Pflanzen so wichtig für die Sauerstofferzeugung sind, stellt sich die Frage, ob der Mensch die Bedingungen dafür günstig beeinflussen kann. Bei den Versuchen in den Filmen 1, 2 und 3 wurde starkes Licht verwendet. Daraus ergibt sich die Vermutung, daß das Licht bei der a).....eine b).....

Sehen Sie sich dazu den Film 4 an :

Lichtabhängigkeitsversuch.

Halten Sie den Inhalt des Films in einigen kurzen Sätzen fest.

22 Mißt man die O_2 -Entwicklung in Abhängigkeit von der CO_2 -Konzentration der umgebenden Luft genau, so ergibt sich folgende Abhängigkeit :



Das bedeutet .

- bei einer Erhöhung der CO_2 -Konzentration von 0.01 auf 0.05 Vol% erfährt die Photosyntheserate eine a) starke/geringe b) Steigerung/Abschwächung
- über 0,10 Vol% CO_2 ist durch steigende CO_2 -Konzentration c) keine/ eine starke Steigerung möglich

30 Tatsächlich hängt die Sauerstoffbildung der Pflanzen von dem Grün der Blätter ab. Ohne das a).....kann die Pflanze keinen b).....erzeugen. Die Bildung des Blattgrüns ist wiederum abhängig vom c).....

Nun kennen Sie schon drei Voraussetzungen für die Erzeugung von Sauerstoff durch die Pflanzen.

Sie benötigen dafür d) e) f)

6 A a) Sinnesorgan

b) Experimente, Reaktionen o.ä.

14 A a) Sauerstoffbildung b) Rolle spielt

sinngemäß :

helles Licht : viele Gasblasen

dunkleres Licht : weniger Gasblasen

kein Licht : keine Gasblasen

22 A a) starke

b) Steigerung

c) keine

30 A a) Blattgrün b) Sauerstoff c) Licht

d) Licht e) Kohlendioxid f) Blattgrün (d-f
Reihenfolge bel.)

7 Den von Landpflanzen abgegebenen Sauerstoff aufzufangen, ist rel. schwierig, da er sich sehr schnell verflüchtigt. Da Sauerstoff aber nicht sehr gut wasser- a).... ist, eignen sich b).....-pflanzen für eine Nachweisreaktion besser. Man kann ihn auf dem Weg zur Wasseroberfläche c).....

15 Die Wasserpestpflanze erzeugte bei starker Lichteinwirkung a).....
bei schwächerer Lichteinwirkung b)..... und bei Verdunklung c).....

23 Die für die Pflanzen optimale CO_2 -Konzentration der Luft liegt bei ca. 0,05 - 0,10 Vol%.
Die Luft enthält normalerweise ca. 0,03Vol% CO_2 . Das heißt, daß durch Zusatz von CO_2 die Sauerstoffentwicklung a) gesteigert / nicht gesteigert werden könnte.

31 Die Abhängigkeit der O_2 -Erzeugung vom Blattgrün läßt sich in einem Versuch zeigen.

Sehen Sie sich dazu Film 6 an :
Blattgrünabhängigkeitsversuch

Machen Sie sich Notizen zu Ihren Beobachtungen.
Blaufärbung von Indigocarmin ist zu beobachten an
a) Blüte
b) Stengel
c) Blättern
d) Wurzeln

- 7 A a) wasserlöslich
b) Wasserpflanzen
c) beobachten, verfolgen o.ä.

- 15 A a) viele
b) weniger
c) keine Gasblasen

- 23 A a) gesteigert

- 31 A x c)

8 Besonders gut geeignet dafür ist eine Wasserpflanze, die sich als Aquariumpflanze großer Beliebtheit erfreut. Ihr Name ist Wasserpest oder lat. Elodea. Sie hat in ihren Stengeln Hohlraumsysteme, in denen sich der gebildete Sauerstoff ansammelt und dann an Bruch- und Schnittstellen austritt.

Sehen Sie sich dazu den ersten kurzen Filmabschnitt an: Gasblasenversuch.

Halten Sie Ihre Beobachtung in einer einfachen Skizze fest.

16 Pflanzen können nur bei a).....Sauerstoff erzeugen. Deshalb nennt man den Vorgang auch Photosynthese. Die Menge der Sauerstoffbildung hängt von der b).....-stärke ab. Bei c).....stellen die Pflanzen die Sauerstofferzeugung ein.

24 Tatsächlich leiten manche Gärtner CO_2 -Gas zusätzlich in ihre Treibhäuser. Für Tiere und Menschen ist ein erhöhter CO_2 -Gehalt der Luft aber giftig.

Die Blätter der Pflanzen verarbeiten die gleiche Menge CO_2 wie sie O_2 erzeugen. Die Pflanzenwelt ist also nicht nur für die a).....-erzeugung von großer Bedeutung, sondern auch für die Reinigung der Luft durch die Aufnahme von b).....

Sehen Sie sich nun bitte zum Vergleich und zum besseren Einprägen nochmal die Graphik von LE 17 an, die die genaue Abhängigkeit der O_2 -Produktion von der Lichtstärke zeigt.

32 Die Menge der Sauerstofferzeugung durch die Pflanze hängt von verschiedenen Faktoren ab. Tragen Sie bitte die Sauerstoffmengen in die jeweiligen Kästchen ein und verwenden Sie dabei : - kein Sauerstoff - wenig Sauerstoff - viel Sauerstoff

Lichtstärke	kein Licht	schwaches Licht	intensives Licht
			
Kohlendioxid- gehalt	kein CO_2	wenig CO_2	viel CO_2
			
Stärke des Blattgrüns	kein Blatt- grün	schwache Blattgrün- färbung	kräftige Blattgrün- färbung

8 A



weiter auf S.1

- 16 A a) Licht
b) Lichtstärke
c) Dunkelheit

weiter auf S. 1

- 24 A a) Sauerstofferzeugung
b) Kohlendioxid

weiter auf S. 1

32 A

kein O₂ wenig O₂ viel O₂

kein O₂ wenig O₂ viel O₂

kein O₂ wenig O₂ viel O₂

weiter auf S. 9

33 Intensives Licht, viel Kohlendioxid und eine kräftige Blattgrünfärbung sind also a).....für eine optimale Sauerstoffproduktion der Pflanzen.

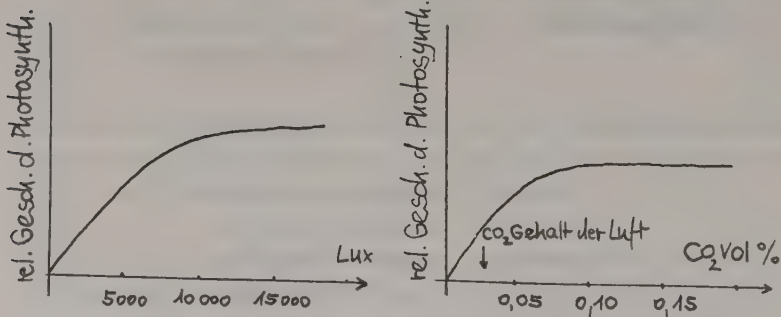
Nun haben Sie aber bei der vorangegangenen Besprechung der genauen quantitativen Zusammenhänge zwischen

b)....-produktion und Lichtintensität bzw.

CO₂-Konzentration erfahren, daß dies nicht beliebig c) gesteigert/ variiert werden kann.

34 Betrachten Sie nun noch einmal die beiden Graphen, die die Abhängigkeit der a)....-produktion von der b)

Licht-.... und der CO₂-Konzentration in c)....angeben.



Steigert man also die Lichtintensität über d).....Lux, bzw. die CO₂-Konzentration über e)----Vol%, so wird die Photosyntheserate nicht mehr gesteigert.

Man spricht von einem Sättigungswert

35 Ebenso gibt es natürlich auch für den Gehalt an Blattgrün eine obere Grenze.

So erreicht also die O₂-Produktion der Pflanzen durch eine optimale Versorgung mit a)....., b)..... und

c).....einen d).....-wert.

33 A a) günstig o.ä.

b) Sauerstoffproduktion

c) gesteigert

34 A a) Sauerstoffproduktion

b) Lichtintensität

c) Vol%

d) ca. 10 000 Lux

ca. 0,10 Vol%

35 A a) Licht

b) Kohlendioxid

c) Blattgrün (a-c

bel. Reihenfolge)

d) Sättigungswert

Abschließend stellt sich nun noch die Frage, ob LICHT. KOHLENDIOXID und BLATTGRÜN die einzigen Faktoren sind, von denen die Sauerstofferzeugung abhängt, oder ob noch andere Dinge eine Rolle spielen.

Dieses Problem muß im weiterführenden Unterricht geklärt werden.

Wenn Ihnen nun noch Zeit bleiben sollte, dann nützen sie diese bitte, indem Sie einzelne Lernschritte nochmal wiederholen, vor allem solche, bei denen Sie evtl Fehler gemacht haben.

ANLAGE 6

Arbeitsheft zum Lernprogramm für die 12. Klassen

ARBEITSHEFT I

1

2 a) b)

3

4 a) b)

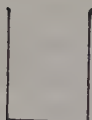
5 a)

6 a) b)

7 a) b)

c)

8



9 a) b)

c)

d)

10 a) b)

11



12 a) b)

13 a) b)

14 a) b))helles Licht :

dunkleres Licht :

kein Licht :

15 a) b) c)

16 a) b) c)

17 a) b) c)

18 a) b)

19

20 abgekochtes Wasser :

Leitungswasser :

CO₂-angereichertes Wasser :

21 a) b) c)

d) e) f)

ARBEITSHEFT II

22 a) b) c)

23 a) b)

24 a) b)

25

26 a) b)

27 a) b)

28

29 a) b)

30 a) b) c) d) e) f)

31

32

33 a) b) c)

34 a) b) c)

 d) e)

35 a) b) c)

 d)

ANLAGE 7 Vortest für die 7. Klassen

NAME :	DATUM :
VORNAME :	KURSLEITER :
ALTER :	SCHULE :

Die Frage nach Deinem Alter ist erforderlich, um den Test nach verschiedenen Altersstufen auswerten zu können.

Sicher ist es für Dich ungewohnt, in der Schule einen Test über ein noch nicht behandeltes Thema auszufüllen. Wir möchten Dich aber bitten, dies trotzdem so sorgfältig wie möglich zu tun. Es soll uns nämlich zeigen, was Du über das neue Unterrichtsthema schon weißt.

Wenn Du nur ganz wenige Fragen beantworten kannst, so ist dies nicht weiter von Bedeutung. Du sollst den neuen Stoff ja erst lernen.

Vielen Dank für Deine Mitarbeit !

ACHTUNG : Bei dem nachfolgenden Test sind Lücken auszufüllen und richtige Sätze anzukreuzen.
Dabei ist wichtig, daß Du weißt, daß auch mehrere, alle oder kein Satz richtig sein kann.

Fragen zum Lehrstoff : Photosynthese und ihre Abhängigkeit
von verschiedenen Faktoren

1. Man nennt Bäume auch Luftverbesserer, weil sie

- ☐ die Stickstoffmenge verringern
- ☐ das Kohlendioxid aus der Umgebung aufnehmen
- ☐ Staub an ihren Blättern anlagern
- ☐ oft wohlduftend aromatische Gerüche abgeben
- ☐ Sauerstoff erzeugen

2. Pflanzen brauchen zur Photosynthese neben genügend
Wasser und Wärme vor allem drei Dinge

1.....2.....3.....

3. Wie gut eine Pflanze Photosynthese betreibt, kann man
daran sehen

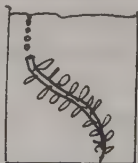
- ☐ wieviele Blüten sie bildet
- ☐ wieviel Kohlendioxid sie abgibt
- ☐ wieviel Sauerstoff sie erzeugt

4. Die Menge des von Pflanzen erzeugten Sauerstoffes ist
besonders groß, wenn

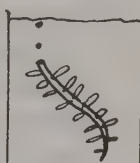
- ☐ die Pflanzen besonders gut belichtet werden
- ☐ weniger Stickstoff in der umgebenden Luft vorhanden ist
- ☐ die Umgebung viel Kohlendioxid enthält
- ☐ man der Umgebung Indigocarmin zusetzt

5. Ordne bitte zu und beschrifte

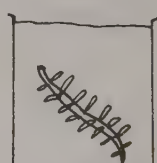
.....gasbläschen



A



B



C

viel Licht bei....

geringere Beleuchtung bei....

kein Licht bei....

6. Man verwendet zum Nachweis der Photosynthese gern Was-

☐ serpflanzen, weil dann der Stickstoff weniger Zutritt zur Pflanze hat

☐ die Glimmspanprobe im Wasser weniger gefährlich verläuft

☐ Wasserpflanzen meist mehr Sauerstoff erzeugen als

☐ Landpflanzen

☐ Sauerstoff an Landpflanzen sich zu schnell verflüchtigt

7. Indigocarmin ist ein Stoff der

☐ sich bei Sauerstoffzugabe von farblos nach blau färbt

☐ bei Kohlendioxidzugabe an Pflanzen blau gefärbt wird

☐ auch geringe Mengen Sauerstoff schon nachweisen kann

☐ sich bei Sauerstoffzugabe gelb färbt

8. Im abgekochten Wasser erzeugen Wasserpflanzen weniger Sauerstoff, weil

☐ im abgekochten Wasser die Mineralien fehlen

☐ im abgekochten Wasser der Sauerstoff fehlt

☐ abgekochtes Wasser keine Lebewesen mehr enthält

☐ abgekochtes Wasser sehr wenig Kohlendioxid enthält

9. Die grüne Farbe der Pflanzen

☐ könnte auch durch eine andere Farbe ersetzt werden

☐ hat sich entwickelt, weil sie für die Augen von Mensch

☐ und Tier angenehmer ist als wenn z.B. alle Blätter rot

☐ oder gelb wären

☐ entwickelt sich nur bei Anwesenheit von Licht

☐ ist unentbehrlich für die Sauerstoffentwicklung bei

☐ Pflanzen

☐ bildet sich zurück bei Abwesenheit von Licht

10. Die Sauerstoffentwicklung einer Pflanze findet statt

☐ an gut belichteten Pflanzenteilen

☐ nie am Pflanzenstengel

☐ an allen grünen Blättern

☐ nie an der Wurzel

☐ auch am Stengel, aber nur wenn er grün ist

11. Die Bildung des Blattgrüns ist lichtabhängig.

☐ Alle Teile der Pflanze sind zur Photosynthese fähig.

☐ Nur Tiere und Menschen verbrauchen Sauerstoff.

☐ Auch im Dunkeln erzeugen die Pflanzen noch Sauerstoff.

☐ Kohlendioxid fördert die Photosynthese.

ANLAGE 8 : Haupt- und Nachtest für die 7. Klassen

NAME :

DATUM :

VORNAME :

KURSLEITER :

ALTER :

SCHULE :

Fragen zum Lehrstoff : Photosynthese und ihre Abhängigkeit von verschiedenen Faktoren

1. Man nennt Bäume auch Luftverbesserer, weil sie

die Stickstoffmenge verringern

das Kohlendioxid aus der Umgebung aufnehmen

Staub an ihren Blättern anlagern

oft wohlduftend aromatische Gerüche abgeben

Sauerstoff erzeugen

2. Pflanzen brauchen zur Photosynthese neben genügend Wasser und Wärme vor allem drei Dinge

1.....2.....3.....

3. Wie gut eine Pflanze Photosynthese betreibt, kann man daran sehen

wieviele Blüten sie bildet

	wieviel Kohlendioxid sie abgibt
--	---------------------------------

wieviel Sauerstoff sie erzeugt

4. Die Menge des von Pflanzen erzeugten Sauerstoffs ist besonders groß, wenn

die Pflanzen besonders gut belichtet werden

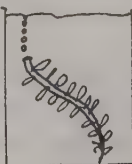
weniger Stickstoff in der umgebenden Luft vorhanden ist

die Umgebung viel Kohlendioxid enthält

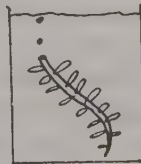
man der Umgebung Indigocarmin zusetzt

5. Ordne bitte zu und beschrifte

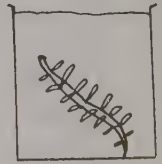
.....gasbläschen



A



B



C

viel Licht bei.....

geringere Beleuchtung bei.....

kein Licht bei.....

6. Man verwendet zum Nachweis der Photosynthese gern Wasserpflanzen, weil

- ☐ dann der Stickstoff weniger Zutritt zur Pflanze hat
- ☐ die Glimmspanprobe im Wasser weniger gefährlich verläuft
- ☐ Wasserpflanzen meist mehr Sauerstoff erzeugen als Landpflanzen
- ☐ Sauerstoff an Landpflanzen sich zu schnell verflüchtigt

7. Indigocarmin ist ein Stoff, der

- ☐ sich bei Sauerstoffzugabe von farblos nach blau färbt
- ☐ bei Kohlendioxidzugabe an Pflanzen blau gefärbt wird
- ☐ auch geringe Mengen Sauerstoff schon nachweisen kann
- ☐ sich bei Sauerstoffzugabe gelb färbt

8. Im abgekochten Wasser erzeugen Wasserpflanzen weniger Sauerstoff, weil

- ☐ im abgekochten Wasser die Mineralien fehlen
- ☐ im abgekochten Wasser der Sauerstoff fehlt
- ☐ abgekochtes Wasser keine Lebewesen mehr enthält
- ☐ abgekochtes Wasser sehr wenig Kohlendioxid enthält

9. Die grüne Farbe der Pflanzen

- ☐ könnte auch durch eine andere Farbe ersetzt werden
- ☐ hat sich entwickelt, weil sie für die Augen von Mensch und Tier angenehmer ist, als wenn z. B. alle Blätter rot oder gelb wären
- ☐ entwickelt sich nur bei Anwesenheit von Licht
- ☐ ist unentbehrlich für die Sauerstoffentwicklung bei Pflanzen
- ☐ bildet sich zurück bei Abwesenheit von Licht

10. Die Sauerstoffentwicklung einer Pflanze findet statt

- ☐ an gut belichteten Pflanzenteilen
- ☐ nie am Pflanzenstengel
- ☐ an allen grünen Blättern
- ☐ nie an der Wurzel
- ☐ auch am Stengel, aber nur wenn er grün ist

11. Die Bildung des Blattgrüns ist lichtabhängig

- ☐ Alle Teile der Pflanze sind zur Photosynthese fähig
- ☐ Nur Tiere und Menschen verbrauchen Sauerstoff
- ☐ Auch im Dunkeln erzeugen die Pflanzen noch Sauerstoff
- ☐ Kohlendioxid fördert die Photosynthese.

ANLAGE 9 Vortest für die 12. Klassen

NAME :.....	DATUM :.....
VORNAME :.....	KURSLEITER :.....
ALTER :.....	SCHULE :.....

Die Frage nach Ihrem Alter ist erforderlich, um den Text nach verschiedenen Altersstufen auswerten zu können.

Sicher ist es für Sie ungewöhnlich, in der Schule einen Test über ein noch nicht behandeltes Thema auszufüllen. Trotzdem möchten wir Sie bitten, dies sorgfältig zu tun. Es gibt uns nur eine Orientierung über den Ausgangsstand Ihres Wissens.

Wenn Sie nur ganz wenige Fragen beantworten können, ist dies nicht weiter von Bedeutung. Sie sollen den Stoff ja erst lernen.

Vielen Dank für Ihre Mitarbeit!

Fragen zum Lehrstoff : Photosynthese in Abhängigkeit von verschiedenen Außenfaktoren

1. Pflanzen verbrauchen bei der Photosynthese das Gas.....

2. Warum kann man den Sauerstoff leichter an Wasserpflanzen als an Landpflanzen nachweisen?

- a) Weil Wasserpflanzen im allgemeinen mehr Sauerstoff erzeugen.
- b) Weil Sauerstoffnachweise im Wasser weniger gefährlich sind.
- c) Weil der von Landpflanzen erzeugte Sauerstoff sich in der Luft sehr schnell verflüchtigt.
- d) Weil Sauerstoff sich nur in geringem Maß in Wasser löst und in Form von Gasblasen aufgefangen werden kann.

3. Welchen Vorteil hat die Nachweismethode von Sauerstoff mit Indigocarmin gegenüber der Glimmspanprobe?

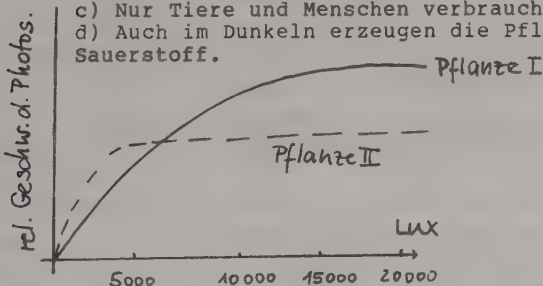
4. Die Ordinate der Graphiken im Zusammenhang mit Photosynthese ist häufig mit "rel. Geschwindigkeit der Photosynthese" oder "Photosyntheserate" bezeichnet. Was ist damit gemeint und wie kann man sie messen?

5. Hält man eine Wasserpflanze in Wasser, das man vorher abkocht und dann abgekühlt hat, so erzeugt sie weniger Sauerstoff als eine im normalen Leitungswasser gehaltene. Warum ist das so?

6. Kreuzen Sie an, was Ihnen richtig erscheint :

- a) Die Bildung des Blattgrüns ist lichtabhängig.
- b) Alle Teile der Pflanze sind zur Photosynthese fähig.
- c) Nur Tiere und Menschen verbrauchen Sauerstoff.
- d) Auch im Dunkeln erzeugen die Pflanzen noch Sauerstoff.

7.



a) Was sind die zwei wichtigsten Unterschiede im Kurvenverlauf zwischen Pflanze I und Pflanze II. Interpretieren Sie sie kurz.

b) Was können Sie daraus über die vermutlichen Standorte der Pflanze I und Pflanze II aussagen?

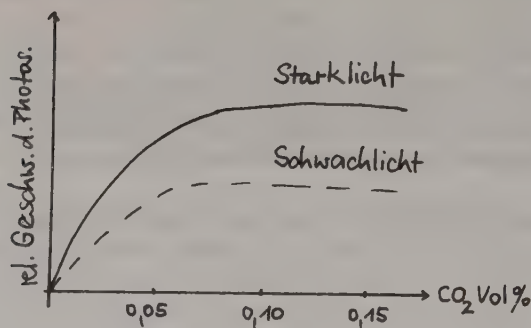
8. Kohlendioxid ist nur zu 0,03 Vol% in unserer Luft enthalten

a) Wodurch könnte man den Gehalt an Kohlendioxid in der Luft erhöhen?

b) Würden die Pflanzen bei einer Erhöhung des Kohlendioxidgehalts der Luft besser wachsen? (kurze Begründung)

9. Eine Pflanze will trotz optimaler Versorgung mit Wasser und Dünger nicht gedeihen. Nennen Sie zwei verschiedene Ursachen dafür, die anorganischer Natur sind (also keine Schädlinge oder andere Lebewesen).

10.



Versuchen Sie die Hauptaussage dieser Graphik in einem klaren Satz zu formulieren.

11. Wenn eine Pflanze trotz Erhöhung.....ihre Photosyntheserate nicht mehr steigern kann, dann hat sie den.....erreicht.

12. Die Sauerstoffentwicklung einer Pflanze findet statt :

- a) an gut belichteten Pflanzenteilen
- b) nie am Pflanzenstengel
- c) an allen grünen Blättern
- d) nie an der Wurzel
- e) auch am Stengel, aber nur wenn er grün ist.

Kreuzen Sie alle vollständig richtigen Aussagen an.

ANLAGE 10 Haupt- und Nachtest für die 12. Klassen

NAME :.....DATUM :.....
VORNAME :.....KURSLEITER :.....
ALTER :.....SCHULE :.....

Test zum Thema : Photosynthese und ihre Abhängigkeit von
verschiedenen Faktoren

Fragen zum Lehrstoff : Photosynthese in Abhängigkeit von
verschiedenen Faktoren

1. Pflanzen verbrauchen bei der Photosynthese das Gas.....

2. Warum kann man den Sauerstoff leichter an Wasserpflanzen
als an Landpflanzen nachweisen?

Kreuzen Sie die Ihnen richtig erscheinenden Sätze an.

- a) Weil Wasserpflanzen im allgemeinen mehr Sauerstoff erzeugen.
- b) Weil Sauerstoffnachweise im Wasser weniger gefährlich sind.
- c) Weil der von Landpflanzen erzeugte Sauerstoff sich in der Luft sehr schnell verflüchtigt..
- d) Weil Sauerstoff sich nur in geringem Maß in Wasser löst und in Form von Gasblasen aufgefangen werden kann.

3. Welchen Vorteil hat die Nachweismethode von Sauerstoff mit Indigocarmin gegenüber der Glimmspanprobe?

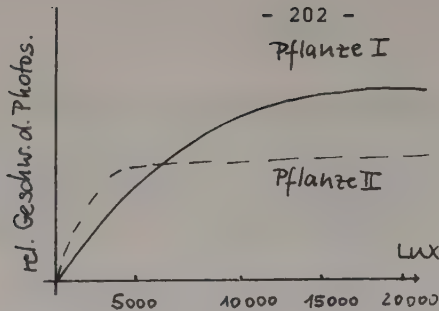
4. Die Ordinate der Graphiken im Zusammenhang mit Photosynthese ist häufig mit "rel. Geschwindigkeit der Photosynthese" oder "Photosyntheserate" bezeichnet. Was ist damit gemeint und wie kann man sie messen?

5. Hält man eine Wasserpflanze in Wasser, das man vorher abgekocht und dann abgekühlt hat, so erzeugt sie weniger Sauerstoff als eine im normlaen Leitungswasser gehaltene. Warum ist das so?

6. Kreuzen Sie an, was Ihnen richtig erscheint :

- a) Die Bildung des Blattgrüns ist lichtabhängig.
- b) Alle Teile der Pflanze sind zur Photosynthese fähig.
- c) Nur Tiere und Menschen verbrauchen Sauerstoff
- d) Auch im Dunkeln erzeugen die Pflanzen noch Sauerstoff.

7.



- a) Was sind die zwei wichtigsten Unterschiede im Kurvenverlauf zwischen Pflanze I und Pflanze II. Interpretieren Sie sie kurz.
 b) Was können Sie daraus über die vermutlichen Standorte der Pflanze I und Pflanze II aussagen?

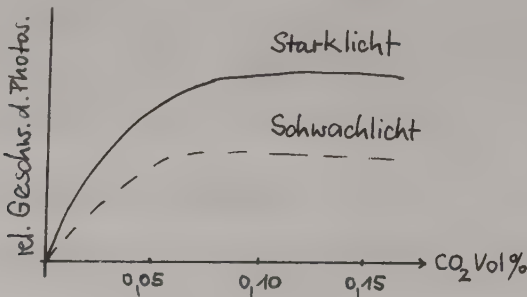
8. Kohlendioxid ist nur zu 0,03Vol% in unserer Luft enthalten.

a) Wodurch könnte man den Gehalt an Kohlendioxid in der Luft erhöhen?

b) Würden die Pflanzen bei einer Erhöhung des Kohlendioxidgehalts der Luft besser wachsen? (kurze Begründung)

9. Eine Pflanze will trotz optimaler Versorgung mit Wasser und Dünger nicht gedeihen. Nennen Sie zwei verschiedene Ursachen dafür, die anorganischer Natur sind (also keine Schädlinge oder andere Lebewesen).

10.



Versuchen Sie die Hauptaussage dieser Graphik in einem klaren Satz zu formulieren.

11. Wenn eine Pflanze trotz Erhöhungihre
Photosyntheserate nicht mehr steigern kann, dann hat sie
den.....erreicht.

12. Die Sauerstoffentwicklung einer Pflanze findet statt :

- a) an gut belichteten Pflanzenteilen
- b) nie am Pflanzenstengel
- c) an allen grünen Blättern
- d) nie an der Wurzel
- e) auch am Stengel, aber nur wenn er grün ist.

Kreuzen Sie alle vollständig richtigen Aussagen an.

Anlage 11 : Itemanalyseergebnisse für die 7. Klasse
bei den mit verschiedenen Methoden unterrichteten
Gruppen

METHODE P, 7

Schwierigkeitsgrad

Aufgabe	Vort	Haupt	Nach	Max
1	4.4910714 90	4.6964286 94	4.6435644 93	5
2	1.6696429 56	2.8303571 94	2.6633663 89	3
3	2.5892857 86	2.9196429 97	2.9306931 98	3
4	3.0892857 77	3.821286 96	3.7128713 93	4
5	1.8839286 47	3.8214286 96	3.8019802 95	4
6	3 75	3.3928571 85	3.5049505 88	4
7	2.1875 55	3.4285714 86	3.4158416 85	4
8	2.4484286 61	3.5714286 89	3.5742574 89	4
9	3.375 68	4.6339286 93	4.6138614 92	5
10	2.8392857 57	3.3571429 67	3.5544554 71	5
11	3.75 75	4.5803571 92	4.3762376 88	5

R/ITEM

Bei Aufgabe

.27286014	1
.31034396	2
.34605590	3
.23268863	4
.10067458	5
.54837237	6
.39797142	7
.48652038	8
.47168828	9
.29480417	10
.34380293	11

METHODE F, 7
SCHWIERIGKEITSGRAD

Aufgabe	Vort.	Haupt	Nach	Max
1	4.5794393 92	4.7196262 94	4.7894737 96	5
2	1.5794393 53	2.5607477 85	2.4473684 82	3
3	2.5607477 85	2.9626168 99	2.9473684 98	3
4	3.03773832 76	3.6635514 92	3.6184211 90	4
5	2.2897196 57	3.6355140 91	3.7763158 94	4
6	3.0841121 77	3.4299065 86	3.3947368 85	4
7	2.2897196 57	3.4859813 87	3.4342105 86	4
8	2.8504673 71	3.6355140 91	3.5526316 89	4
9	3.6542056 73	4.1588785 83	4.5921053 92	5
10	2.8224299 56	3.4953271 70	3.5131579 70	5
11	3.7102804 74	4.2242991 84	4.3289474 87	5

R/ITEM	Bei Aufgabe
.33854982	1
.40817917	2
.19607405	3
.31938428	4
.32223638	5
.40570788	6
.31165362	7
.43229375	8
.45792440	9
.43825090	10
.28518497	11

METHODE 0, 7.

SCHWIERIGKEITSGRAD

Aufg.	Vort	Haupt	Nach	Max
1	4.4352941	4.6	4.4927536	5
	89	92	90	
2	1.6	2.7411765	2.5072464	3
	53	91	84	
3	2.3411765	2.8470588	2.7101449	3
	78	95	90	
4	2.8117647	3.5529412	3.5217391	4
	70	89	88	
5	2.1882353	3.6117647	3.6521739	4
	55	90	91	
6	3.0705882	3.4	3.3188406	4
	77	85	83	
7	2.2117647	3.2941176	3.5652174	4
	55	82	89	
8	2.5058824	3.5647059	3.3188406	4
	63	89	83	
9	3.6117647	4.1058824	4.1739130	5
	72	82	83	
10	2.8117647	3.4705882	3.5217391	5
	56	69	70	
11	3.5411765	4.1764706	4.1159420	5
	71	84	82	

R/ITEM	Bei Aufgabe
.24398105	1
6.6393310E-02	2
.32649332	3
.45633080	4
.37539632	5
.25182072	6
.51653927	7
.27955114	8
.48834414	9
.32288097	10
.46994869	11

Anlage 12 : Itemanalysergebnisse für die 12 Klasse
bei den mit verschiedenen Methoden unter-
richteten Gruppen

Methode P, 12

Schwierigkeitsgrad

Aufgabe	Vort	Haupt	Nach	Max
1	.68852459	.95081967	.94736842	1
	69	95	95	
2	3.3114754	3.7049180	3.8684211	4
	83	93	97	
3	.16393443	.44262295	.52631579	1
	16	.44	53	
4	.19672131	1	.78947368	2
	10	.50	39	
5	.19672131	1.2295082	1.2631579	2
	10	61	63	
6	3.3934426	3.7049180	3.6578947	4
	85	93	91	
7	.34426230	.91803279	.92105263	2
	17	46	46	
8	.60655738	1.0163934	1.5526316	2
	30	51	78	
9	.50819672	.77049180	.68421053	1
	51	77	68	
10	.27868852	1.2295082	1.4210526	2
	14	61	71	
11	1	1.7868852	1.7105263	2
	50	89	86	
12	.40983607	1.2786885	.73684211	2
	20	64	37	
13	.60655738	1.8524590	1.6842105	2
	30	93	84	
14	3	3.7540984	3.9210526	5
	60	75	78	

R/ITEM	Bei Aufgabe
.33821182	1
.14071516	2
7.6373497E-02	3
.27479788	4
.48303974	2
.11400932	6
.30753795	7
.37054091	8
.38415380	9
.55889921	10
.46661150	11
.39749744	12
.30072533	13
.32776644	14

METHODE f, 12.

Schwierigkeitsgrad

Aufgabe	Vort	Haupt	Nach	Max
1	.87931034 88	.93103448 93	1 100	1
2	3.5 88	3.8448276 96	3.8823529 97	4
3	.10344828 10	.55172414 55	.52941176 53	1
4	.22413793 11	1.0517241 53	1.1176471 56	2
5	.48275862 24	1.7068966 85	.88235294 44	2
6	3.3275862 83	3.5517241 89	2.8235294 71	4
7	.67241379 34	1.0172414 51	.88235294 44	2
8	.82758621 41	1.2241379 61	1.4705882 74	2
9	.56896552 57	.82758621 83	.64705882 65	1
10	.44827586 22	1.5344828 77	1.6470588 82	2
11	1.0517241 53	1.6896552 84	1.9411765 97	2
12	.70689655 35	1.0172414 51	1.4117647 71	2
13	.67241379 34	1.8448276 92	1.6470588 82	2
14	2.9827586 60	4.0689655 81	4.2941176 86	5

R/ITEM

Bei Aufgabe

.18685725	1
.12009750	2
.21878497	3
.44193452	4
.33571642	5
.31181037	6
.39201268	7
.53130553	8
.18725405	9
.31181037	10
.33190113	11
.27945387	12
7.3659801E-02	13
.33293758	14

METHODE 0, 12.

Schwierigkeitsgrad

Aufgabe	Vort	Haupt	Nach	Max
1	.84507042	.98591549	.97872340	1
	85	99	98	
2	3.3098592	3.8169014	3.8297872	4
	83	95	96	
3	8.4507042E-02 .70422535	.78873239	.78723404	1
	8	70	79	
4	.29577465	1.1126761	1.1489363	2
	15	56	57	
5	.28169014	1.6478873	1.5106383	2
	14	82	76	
6	3.5211268	3.3521127	3.5957447	4
	88	84	90	
7	.39436620	1.0845070	.78723404	2
	20	54	39	
8	.76056338	1.4366197	1.6595745	2
	38	72	83	
9	.61971831	.78873239	.72340426	1
	62	79	72	
10	.25352113	1.4507042	1.1712128	2
	13	73	59	
11	1.0140845	1.8450704	1.7234043	2
	51	92	86	
12	.67605634	1.3098592	1.2765957	2
	34	65	64	
13	.61971831	1.9718310	1.9574488	2
	31	99	98	
14	3.0281690	4.0845070	4	5
	61	82	80	

R/ITEM	Bei Aufg
6.7688194E-02	1
.21510999	2
.303305147	3
.46573486	4
.27943564	5
8.5582557E-03	6
.26557119	7
.29834846	8
.31732795	9
.34742012	10
.22804214	11
.22451043	12
6.2670874E-03	13
.46149990	14

ANLAGE 13

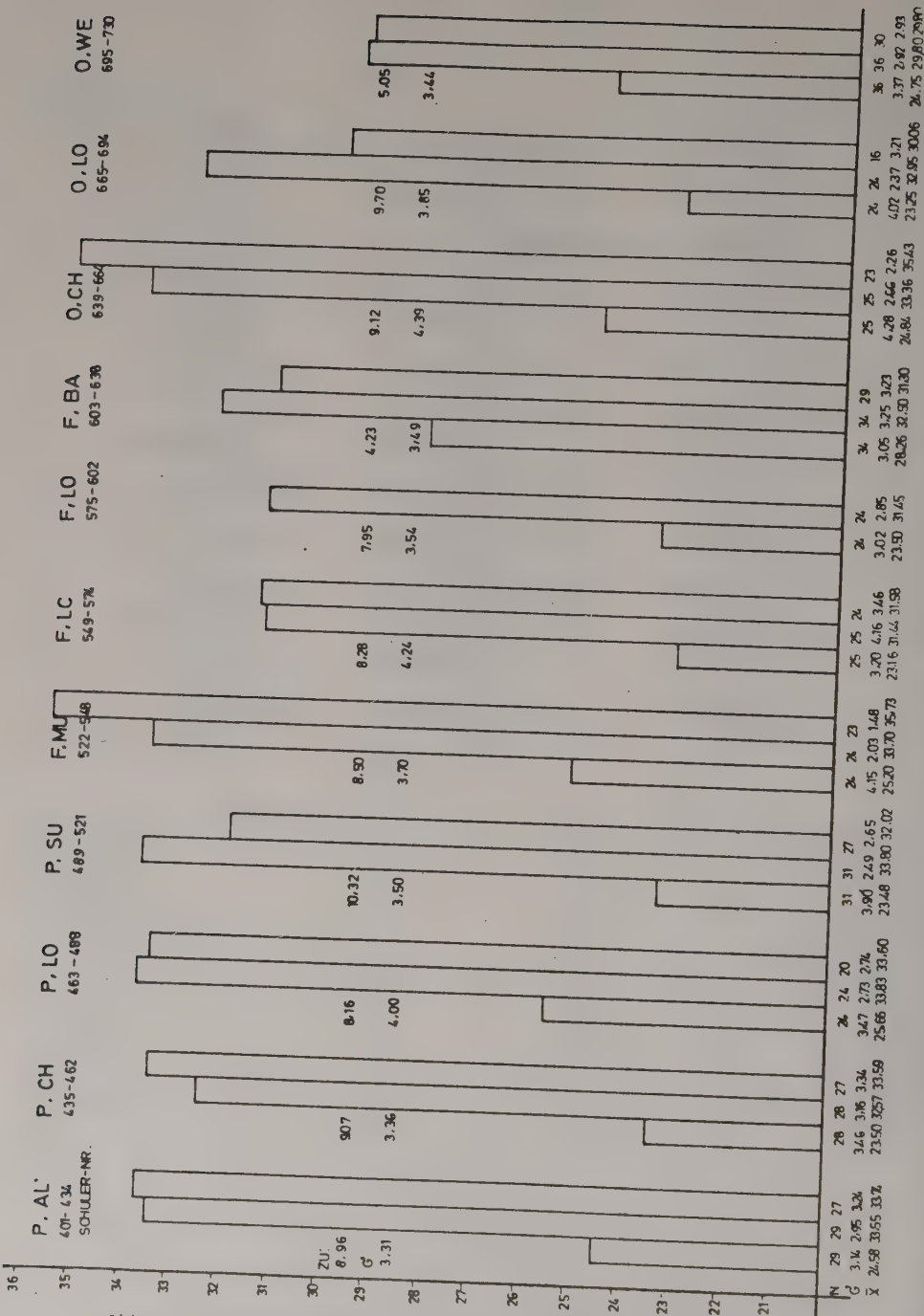


Abb.38 : Durchschnittlich in Vor- Haupt- und Nachtest erreichte Punktzahlen bei den mit verschiedenen Methoden unter-

ANLAGE 14

7. Vorzensur 1,0 -1,9

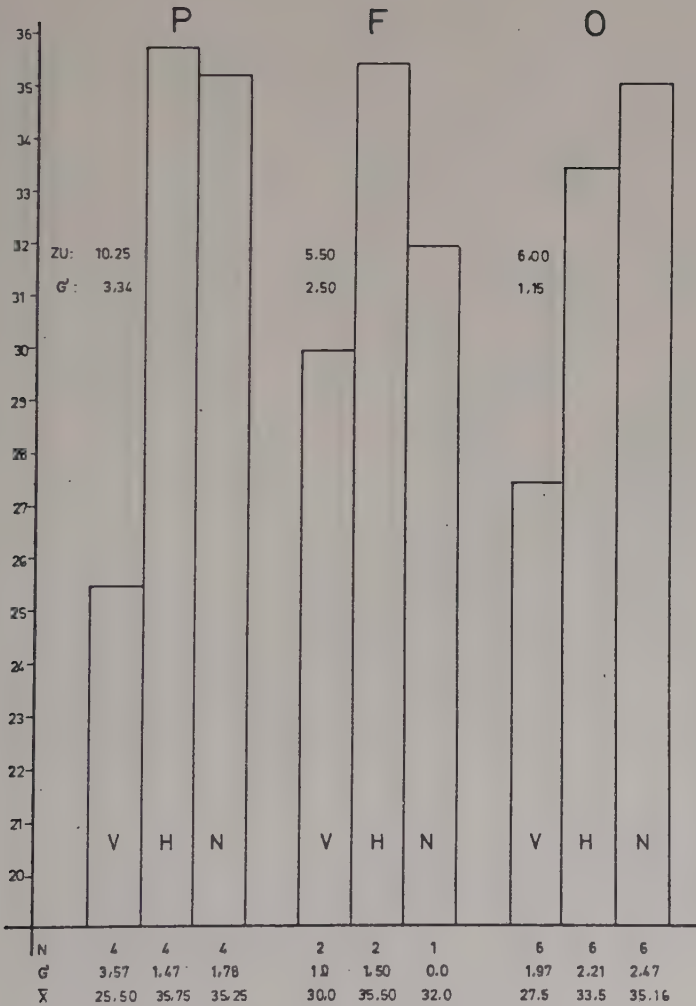


Abb. 39 : Schüler mit extrem guten Vorzensuren in den 7. Klassen
Ein t-Test war wegen fehlender Normalverteilung (geringe Probandenzahl) nicht möglich.

ANLAGE 15

7. Vorzensur 4,6 -5,5

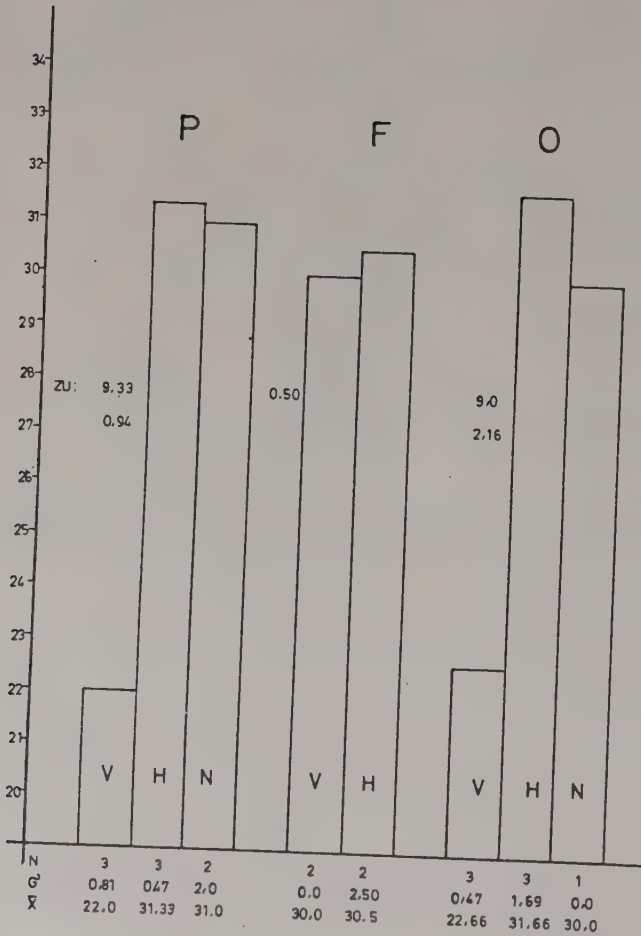


Abb. 40 Schüler mit extrem schlechten Vorzensuren in den 7. Klassen
Ein t-Test ist wegen fehlender Normalverteilung (geringe Probandenzahl) nicht möglich

ANLAGE 16

7.. Vorzensur 1,0 -2,3

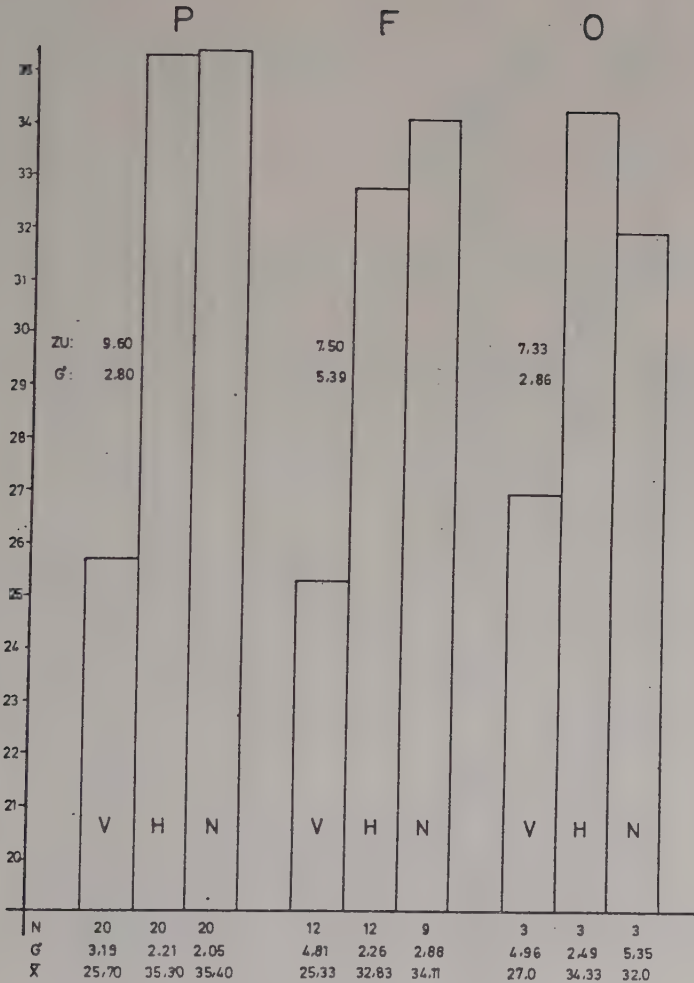


Abb. 41: Mädchen mit extrem guten Vorzensuren in den 7. Klassen
Ein t-Test ist wegen fehlender Normalverteilung (geringe Probandenzahl) nicht möglich.

ANLAGE 17

7. Losher

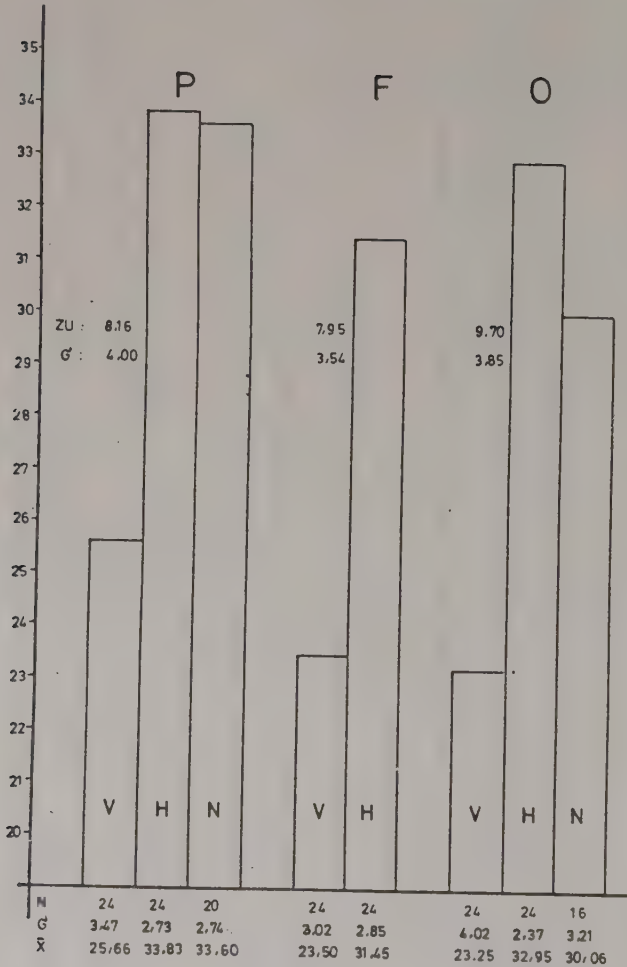


Abb.42 : Schüler der 7. Klassen, die in den verschiedenen Methoden vom gleichen Lehrer unterrichtet bzw. betreut wurden.
Ein t-Test ist wegen fehlender Normalverteilung (geringe Probandenzahl) nicht möglich

ANLAGE 18

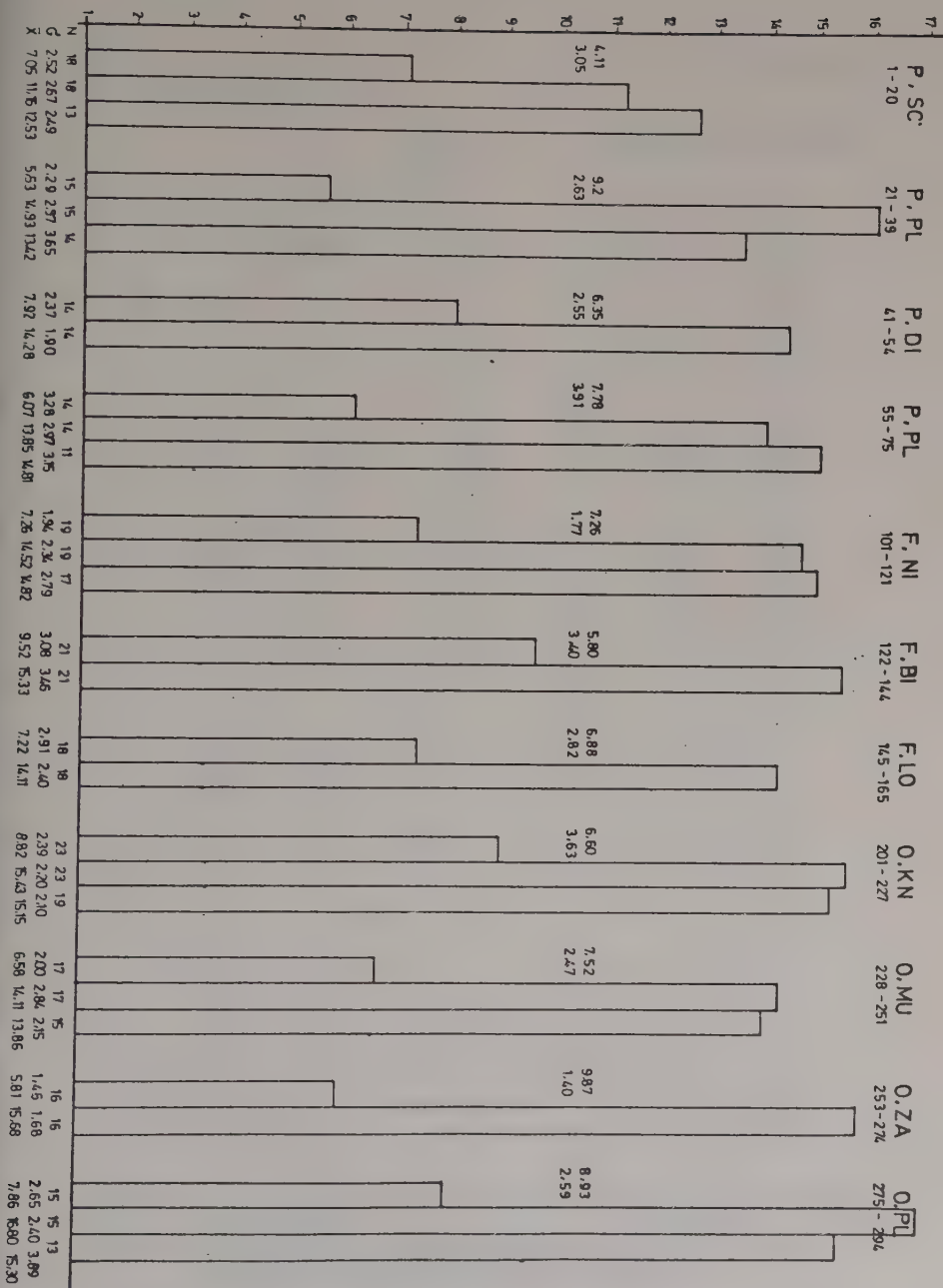


Abb. 43: Durchschnittlich in Vor- Haupt und Nachtest erreichte Punktzahlen bei den mit verschiedenen Methoden unterrichteten Gruppen der 12. Klassen

ANLAGE 19

12. Vorzensur 13 - 15

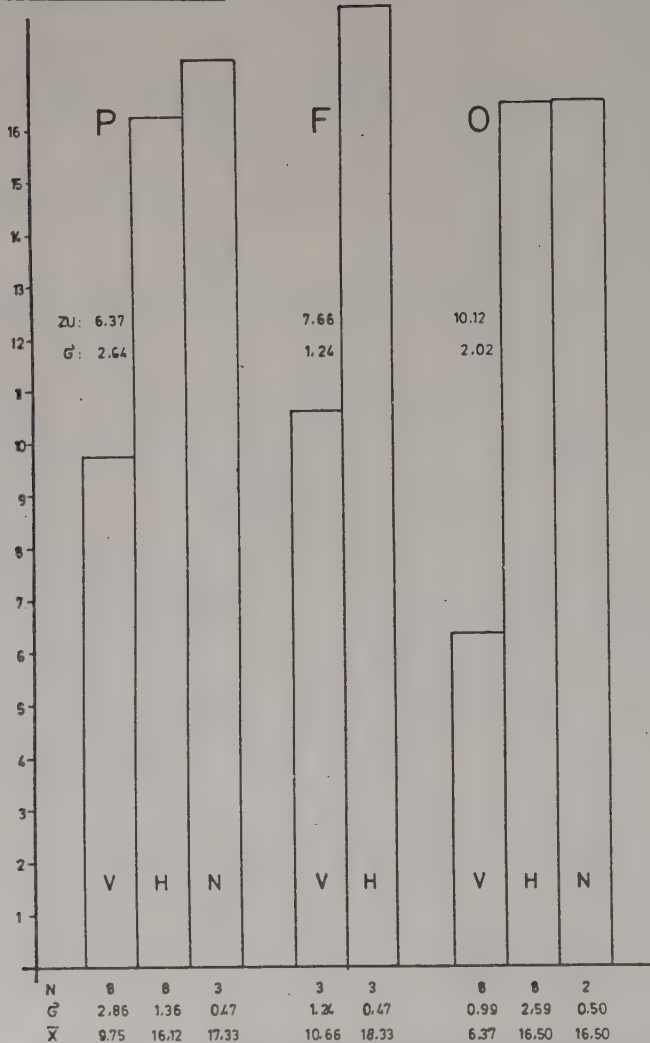


Abb.44: Schüler mit extrem guten Vorzensuren in den 12. Klassen
Ein t-Test ist wegen fehlender Normalverteilung (geringe Probandenzahl) nicht möglich.

ANLAGE 20

12. Vorzensur 0 - 5

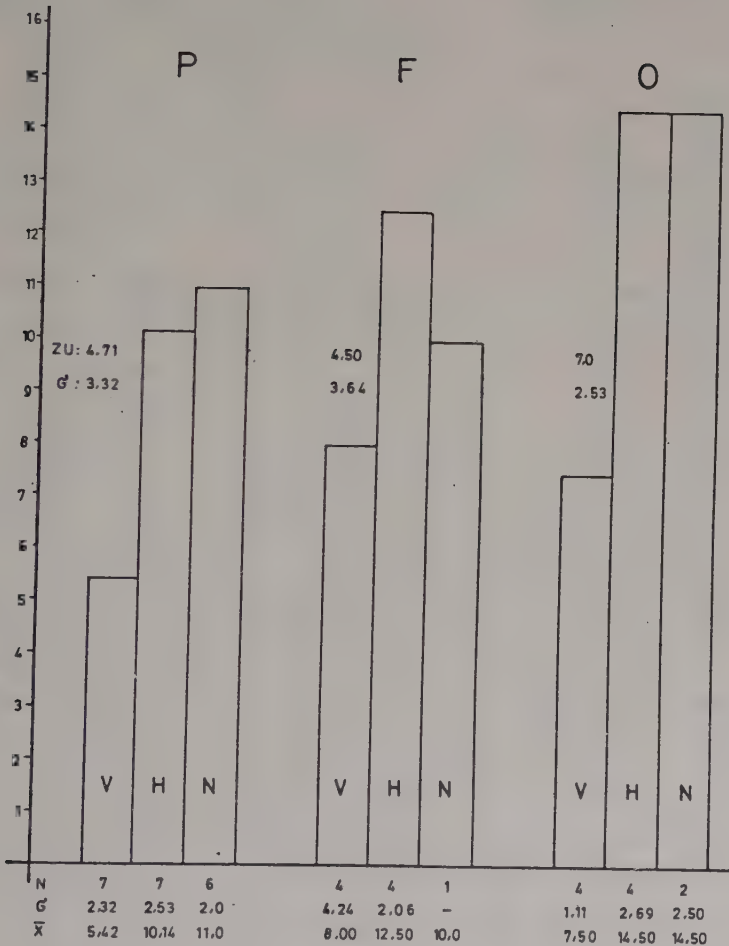


Abb. 45: Schüler mit extrem schlechten Vorzensuren in den 12. Klassen
Ein t-Test ist wegen fehlender Normalverteilung (geringe Probandenzahl) nicht möglich

ANLAGE 21

12. Vorzensur 12 - 15

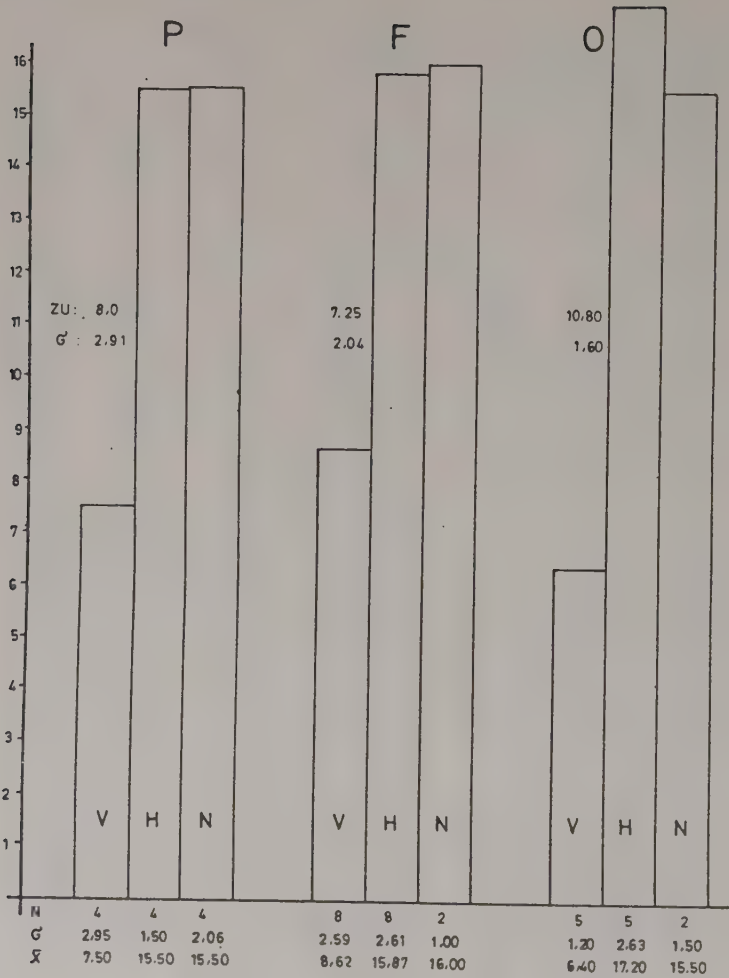


Abb. 46: Mädchen mit extrem guten Vorzensuren in den 12. Klassen
Ein t-Test ist wegen fehlender Normalverteilung (geringe Probandenzahl) nicht möglich

ANLAGE 22

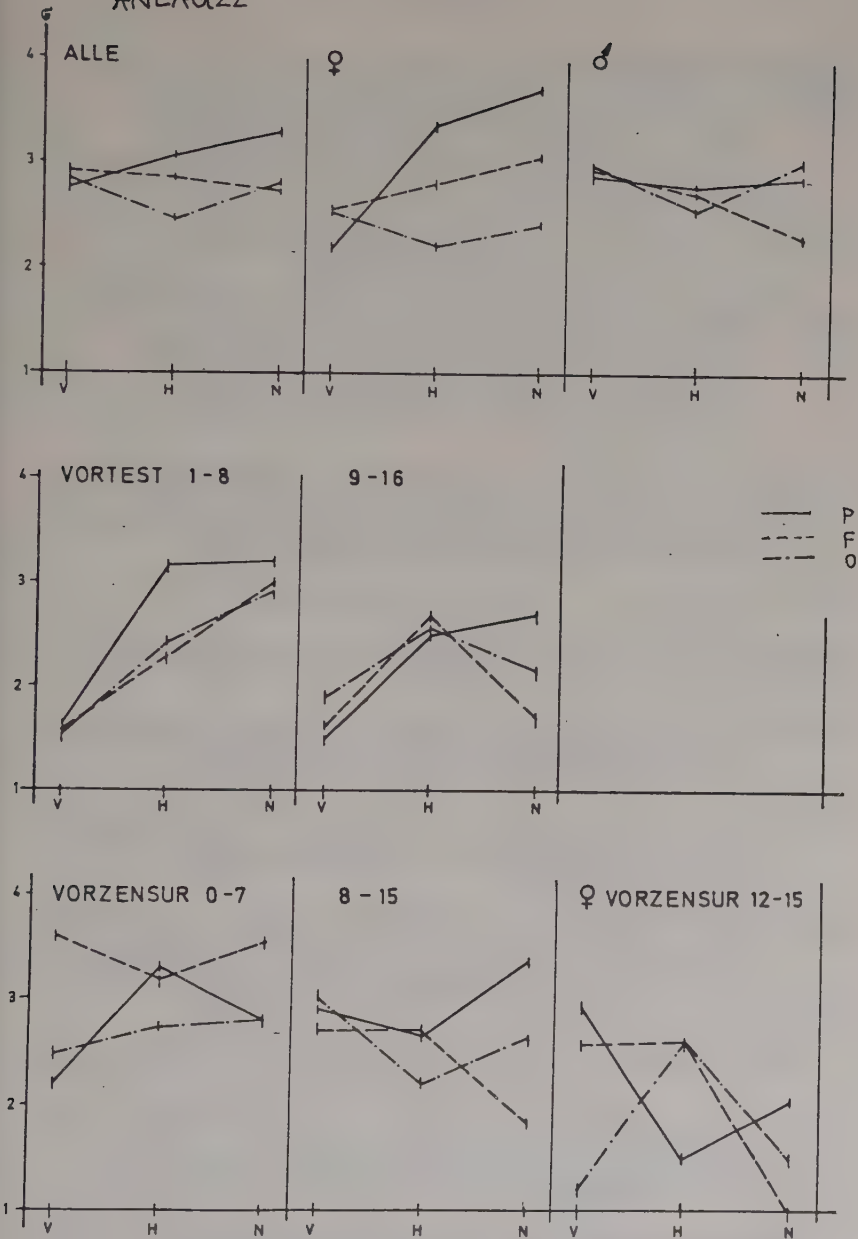


Abb. 47: Vergleich der σ -Werte bei den mit verschiedenen Methoden unterrichteten Gruppen der 12. Klassen

Literaturverzeichnis

- Anders, U. : "Kritische Stimmen aus dem pädagogischen Lager zum programmierten Unterricht und zur Frühlese-Aktion". In : "Programmiertes Lernen, kein Weg für unsere Kinder" Hillringhaus (Hrsg.) Zürich 1968
- Ankerstein, Hilmar S. : "Lernprogramme und ihre Verwendung im Unterricht". Köln Braunsfeld 1971
- Anxolabéhère, D., Bernard-Dangeras N., Favard-Séréno C., Fiszer J., Lanthier M., Periquet G., O.P.E. Laboratory, Universities of Paris VI and VII, France : "A Contribution of the Computer to Biology Education at the University". In : European Journal of Science Education No. 4, S. 377-394, 1980
- Beichler, C. : "Programmiertes Lernen - ein Anstoß zur Neubesinnung um Unterricht und Lehrerbildung." In : "Programmiertes Lernen, kein Weg für unsere Kinder. Hillringhaus (Hrsg.). Zürich 1968
- Beiner, Friedhelm : "Zur Individualisierung des Lernprozesses". Düsseldorf 1972
- Broderick, W.R. : "Of-Line Computer Aided Learning Projekt. Final Report." London 1974
- Brotbeck, K. : "Die weltanschaulichen Grundlagen des PU" in : "Programmiertes Lernen, kein Weg für unsere Kinder". Hillringhaus(Hrsg.). Zürich 1968
- Brunderson, C. Victor et al. : "Proof-of-Concept Demonstration and Comparative Evaluation of a Prototype Intelligent Videodisc System; Final Report." Wicat, Utah 1981
- Bung, Klaus : "Funktion des Lehrers im programmierten Sprachunterricht". In : Referate des 7. Symposiums der Gesellschaft für Programmierte Instruktion (GPI), Hrsg. Rollett, Weltner. Wien 1969
- Correll, Werner : "Programmiertes Lernen und schöpferisches Denken". München/Basel 1965
- Correll, W. : "Programmiertes Lernen und Lehrmaschinen" Braunschweig 1966
- Correll, W. : "Pädagogische Verhaltenspsychologie". München-Basel 1967
- Correll, Werner (Hrsg.) : "Zur Theorie und Praxis des Programmierten Lernens". Darmstadt 1969

- Correll, W. : "Verhaltenspsychologische Grundlagen des Programmierten Lernens". In : Zielinski J. (Hrsg.) "Aspekte des Programmierten Unterrichts". Frankfurt a.M. 1971
- Crowder, N.A. : "Automatic Tutoring by Intrinsic Programming". In : A. A. Lumsdaine, R. Glaser (Ed.) "Teaching Machines and Programmed Learning". Washington 1959.
- Crowder, N.A. : "Über die Unterschiede zwischen linearem und verzweigtem Programmieren". In : Correll W. (Hrsg.) "Zur Theorie und Praxis des Programmierten Lernens". S. 148 - 161. Darmstadt 1969
- Cube v., Felix . "Ausbildung zwischen Automation und Kommunikation". Bochum 1976.
- Daumer K., Hainz R. : "Verhaltensbiologie" Ethologie, Kybernetik und Neurophysiologie. München 1981
- Davies, Mary : "Self Instructional Material im Physiology : A Preliminary Evaluation" In : Physiologist v. 21 n 6 p 45-46 1978
- Diamond, Robert M. : "A Programed Biology Laboratory for the Non-Science-Major". Fredonia, State of New York 1968
- Dieterich, Rainer : "Einführung in die methodischen Grundlagen der pädagogischen Psychologie". München/Basel 1972
- Döring, Kalus W. : "Lehrerrolle und Lehrerverhalten im Programmierten Unterricht". Paderborn 1977
- Dralle, W. . "Der programmierte Unterricht und das System der Jahrgangsklasse". Hannover 1970
- Eckel, Karl : "Bedeutung des Klasseneffekts für die schulpädagogische Forschung". In : Referate des 7. Symposions der GPI, Hrsg. Rollett, Weltner. Wien 1969
- Esser, Hans . "Der Biologieunterricht" Handbuch der Real- schulpädagogik. Hannover 1969
- Fischer, A. : "Über die Bedeutung des Experiments in der pädagogischen Forschung und die Idee einer exakten Pädagogik". In : Erziehungswissenschaft und Erziehungswirklichkeit. Frankfurt a. M. 1964
- Fölsch, G. : "Erfahrungsbericht über den Programmierten Unterricht". In: Zentralblatt für Didaktik der Mathematik (ZDM) 1975/1

- Frank, H. : "Neue Bildungsmedien und -technologien in der Schule und Berufsausbildung". In : Die Realschule. Göttingen 1975
- Gabele, Paul : "Arbeitsmittel und Lernprogramme" Ein Handbuch. Stuttgart 1968
- Gerard, R. W. : "Computer im Unterricht". München 1967
- Gottwald, B. A., Ripota, P : "Das CUU-Vorhaben. Computerunterstützter Hochschulunterricht in Biologie und Mathematik". Paderborn 1975
- Hagemann, W., Carleer, G. : "Lehrer- und Schülerurteile über Unterrichtsprogramme als Ansatzpunkt für Maßnahmen der Lehrerbildung" FEOLL-Projekt. Paderborn 1976
- Hanke, J. : "Der Computerunterstützte Hochschulunterricht in den Naturwissenschaften und der Medizin". In : Naturwissenschaftliche Rundschau 24, 12 (1971)
- Hassenstein, B. : "Biologische Kybernetik". Heidelberg 1967
- Hassenstein, B. : "Verhaltensbiologie des Kindes". München, Zürich 1973
- Heidt, E. U. : "Medienkategorien und Lernmerkmale". In: Unterrichtswissenschaft 1976, 1, S. 37-52
- Heigl, Barbara : "Photosynthese und Atmung" Experimentalprogramm. Wolfenbüttel 1981
- Heitger, M. : "Destruktion des Pädagogischen in seinem instrumentalen Verständnis". In : Welt der Schule 21. Jg. 1968, H. 3
- Heller, K., Rosemann, B. : "Planung und Auswertung empirischer Untersuchungen". Stuttgart 1981
- Hilgard, E.R.; Bower G.H. : "Theorien des Lernens II" Stuttgart 1971
- Hillringhaus, Herbert F. : "Programmiertes Lernen, kein Weg für unsere Kinder". Zürich 1968
- Hull, C. L. : "Principles of behaviour". New York 1943
- Ingenkamp, K. : "Schulleistungen - damals und heute". Weinheim und Berlin 1967

- Kantasewi Nippon, Mcclay David R. : "Experiments in the use of programed materials in teaching an elementary College Course in the Biological Sciences. " In: Teacher Education Research Series Vol. 5, Number 1
- Keil, K.-A. : "Einführung in die Raumgeometrie". München 1973
- Keil, K. A. : "Einführung in die Raumgeometrie" Lehrerheft. München 1973
- Keil, K. A. : "Erfahrungen mit Programmierter Unterricht". In : Zentralblatt für Didaktik der Mathematik (ZDM) 1975/1
- Keil, K. A. : "Hinweise für den Einsatz von Programmen" München 1977
- Killermann, Wilhelm : "Standort und Aufgaben der Fachdidaktik". In : Killermann/Klautke (Hrsg.) "Fachdidaktisches Studium in der Lehrerbildung Biologie" S. 63 - 75. München 1978
- Killermann, Wilhelm : "Biologieunterricht heute". Donauwörth 1980
- Klauer, K. J. : "Handbuch der pädagogischen Diagnostik" Düsseldorf 1978
- Köbberling, Almut : "Effektiveres Lernen durch Programmierter Unterricht". Weinheim, Berlin, Basel 1971
- Kötter, Wegener, Zastrour : "Zur Programmierter Unterweisung Lernbehinderter" Einführung in das Lesen einer Autokarte. Berlin-Charlottenburg 1972
- Kranich, E.M. : "Pädagogische Projekte und ihre Folgen" Stuttgart 1969
- Krause, M. U., Sageder, J. : "Paderborner Arbeitspapiere". Paderborn 1975
- Kuhn, W. : "Exemplarische Biologie in Unterrichtsbeispielen". München 1966
- Kuhn, W. : "Methodik und Didaktik des Biologieunterrichts" München 1975
- Kunz, Emil : "Erfahrungen zum programmierten Biologieunterricht" Lehrbeispiel : Die Hauskatze. In: Der Biologieunterricht 1970, Jg. 6, Heft 1
- Landa, L. N. : "Kybernetik und Unterrichtstheorie" In: "Aspekte des Programmierter Lernens" Zielinsky (Hrsg.) Frankfurt a.M. 1971

- Langenveld, U. : "Zum Programmierten Unterricht" In :
Westermanns Päd. Beitrag, Heft 4 1966
- Langheinrich, Claus : "Unterricht Biologie" Zur Didak-
tik und Methodik für die Grund- und Hauptschule.
München 1979
- Lay, W. A. : "Experimentelle Didaktik". Leipzig 1920
- Lienert, Gustav A. : "Testaufbau und Testanalyse". Wein-
heim, Berlin, Basel 1969
- Lindvall, C. M. : "Pupil attention and attitude under con-
ditions of programed instruction". Univ. of
Pittsburgh 1964
- Löwe, Bernd R. : "Interessenänderung durch Biologieun-
terricht". München 1983
- Lumsdaine, A. A., Glaser R. (Hrsg.) : "Teaching Machines
and Programed Learning". Washington 1959
- Lumsdaine, A.A. : "Probleme beim programmierten Unter-
richt" In : Correll (Hrsg.) : "Zur Theorie und
Praxis des Programmierten Lernens". Darmstadt 1969
- Mager, R.F. : "Lernziel und Unterricht". Weinheim 1965
- Meumann, E. : "Abriß der Experimentellen Pädagogik".
Leipzig und Berlin 1914
- Meyer, Ernst (Hrsg) : "Eingreifprogramme". Stuttgart
1973
- Murphy, R. T.; Appel, L.R. : "Evaluation of the PLATO IV
Computer-based Education System in the Community
College. Final Report." New York 1977
- Muslow, Ronald : "Programmierter Unterricht und Lern-
programme im Biologieunterricht" In: Praxis der
Naturwissenschaften II 1973, Heft 1
- Netzer, H. : "Lernprogramm und Lernmaschine. Was hat
die deutsche Pädagogik von ihnen zu erwarten?".
Bad Heilbrunn 1964
- Nicklis, W.S. : "Kybernetik und Erziehungswissenschaft"
Bad Heilbrunn 1967
- Petersen, Jürgen : "Programmiertes Lernen im Biologieun-
terricht" In : "Der Biologieunterricht" 2. Jg 1966
Heft 2 (S. 88 - 92)
- Piepo, Hans-Eberhard (Hrsg.) : "Individuelles Lernen und
Studieren". Alsbach/Bergstraße 1980

- Plöger, W. : "25 Jahre Programmierter Unterricht - Versuch eines Resumées" In : Die Realschule 1979/10
- Rauner, F., Trotier, J. : "Computergesteuerter Unterricht" Das ALCU-Projekt. Stuttgart, Berlin, Köln, Mainz 1971
- Recum v., Hasso : "Programmierte Unterweisung". Bad Harzburg, Frankfurt (M) 1967
- Rollett, B., Weltner K. (Hrsg.) . "Perspektiven des PU" Referate des 7. Symposions der Gesellschaft für Programmierte Instruktion (GPI). Wien 1969
- Roth, H. . "Die Bedeutung der empirischen Forschung für die Pädagogik" In : Pädagogische Forschung und Pädagogische Praxis. Heidelberg 1958
- Schäfer, v.H.H. : "Übersicht über die Forschungen auf dem Gebiet des programmierten Unterrichts." Vortrag auf der internationalen Konferenz "Programmierter Unterricht und Lehrmittel". Berlin 1963
- Schiefele, H. : "Programmierte Unterweisung", München 1964
- Schiefele, H., Huber, G.L. : "Programmierte Unterweisung-programmiert" München 1969
- Schiefele, Hans : "Lehrer und Programme" In : "Aspekte des Programmierten Unterrichts" Zielinsky J. (Hrsg.) Frankfurt a.M. 1971
- Schirm, R. W. "Programmiertes Lernen". Stuttgart 1971
- Schneider, Walter . "Schüler beurteilen Lernprogramme". Köln 1973
- Schneider, W., Grundmann-Hencke B. : "Programmgesteuerte Unterweisung im Urteil von Lehrern und Schülern Nordrhein-Westfalens". Stuttgart 1973
- Schmittlein, K. : "Informationstechnische Bildung. Das bayrische Gesamtkonzept; Überblick und Schwerpunkte" In : schulreport, März 1985, Heft 1
- Schöler, Waltraud : "Zur schulpädagogischen Integration des programmierten Unterrichts". Ratingen bei Düsseldorf 1967
- Schöler, Waltraud (Hrsg.): "Buchprogramme im Aspekt der Integration". Paderborn 1973

- Schöler, Waltraud : "Bibliographie zum Programmierten Unterricht". Paderborn 1977
- Schorb, Alfons Otto : "Schule und Lehrer an der Zeitschwelle. Stuttgart 1962
- Schramm, W. : "Programmierter Unterricht heute und morgen". Berlin 1963
- Siedentop, Werner : "Methodik und Didaktik des Biologieunterrichts". Heidelberg 1968
- Siemens AG (Hrsg.): "Orientierungspunkte zur Programmierten Unterweisung". Berlin, München 1972
- Silverman, Robert E. : "Selbstunterrichtsmittel: Einige theoretische und praktische Betrachtungen", In : Correll (Hrsg.) : "Zur Theorie und Praxis des Programmierten Lernens" S. 61-71. Darmstadt 1969
- Skinner, B. F. : "Die Wissenschaft vom Lernen und die Kunst des Lehrens". In : Correll (Hrsg.) : "Programmiertes Lernen und Lehrmaschinen". Braunschweig 1965
- Skinner B. F. : "Die Technologie des Lehrens". In : Correll (Hrsg.) : "Zur Theorie und Praxis des Programmierten Lernens". Darmstadt 1969
- Spandl, Oskar Peter : "Didaktik der Biologie". München 1974
- Staeck, Lothar : "Medien im Biologieunterricht. Angebote-Praxis-Wirksamkeit". Königsstein/Taunus 1980
- Standing, Roy A.; Tidball, Charles, S. : "Physiological Simulation : An Assessment of its Advantages as well as its Limitations" In : "Physiology Teacher" v 6 n 4 p6-10 1977
- Stichmann, Wilfried : "Biologie"; Schriftenreihe für den Unterricht an der Grund- und Hauptschule Düsseldorf 1970
- Stöcker, K. : "Neuzeitliche Unterrichtsgestaltung". München 1970
- Stöhr, Emil Karl : "Bedeutung der Modellmethode für den Biologieunterricht in der Hauptschule". München 1981
- Stroebe, Rainer W. : "Programmierte Unterweisung im Ausbildungssystem des Industriebetriebes". Eine Anwendung lerntheoretischer Erkenntnisse. München 1971

- Thayssen, Fritz : "Einsatzformen und Möglichkeiten von Buchprogrammen". Paderborn 1976
- Thomas, W., Bulling G.H., Laubner, H. : "Konventioneller Unterricht-programmierter Unterricht : Betrachtungen zur Wirtschaftlichkeit". In : Rollett, Weltner (Hrsg.) : "Perspektiven des PU" Referate des 7. Symposions der Gesellschaft für Programmierte Instruktion. Wien 1969
- Tocci, Salvatore : "A Flexible, Individualized Approach to Instruction Using the Biological Sciences Curriculum Study (BSCS) Yellow Version". in . American Biology Teacher v 43 n 3 p 148-151 1981
- Tulodziecki, G. : "Analyse und Beurteilung von fremd-produzierten Unterrichtsmedien als Grundlage ihrer Verwendung in Lehr- und Lernprozessen". In : Deutsche Schule 4/1975
- Vogel, Alfred : "Biologieunterricht". Zweibrücken 1965
- Vogt H., Zänker U., Schellenberg E. : "Pädagogische Kybernetik und Programmierte Instruktion in der Sowjetunion und in der DDR 1965/66 mit Bibliographie" Marburger Forschungsstelle für Vergleichende Erziehungswissenschaft. Berichte Heft 3. Weinheim und Berlin 1968
- Voigt v., Hartmut : "Transferwirkungen der Programmier-ten Instruktion : Umfassendes Lehr- und Lerntraining, Entfaltung der Persönlichkeit" In : Rollett, Weltner (Hrsg.) : Referate des 7. Symposions der GPI. Wien 1969
- Walter, Hellmuth : "Lehrstrategie und Lehreffektivität; ein kritischer Vergleich von PU und herkömmlichem Unterricht". München, Basel 1973
- Walter, Hellmuth : "Die Lehreffektivität von Programmierter Unterweisung und herkömmlichem Lehrerunterricht unter Berücksichtigung adressatenbezogener Maßkriterien" Dissertation. Tübingen 1971
- Wartburg v., Wolfgang : "Zum Problem der technischen Unterrichtsmittel". In : Hillringhaus (Hrsg.) : "Programmiertes Lernen, kein Weg für unsere Kinder". Zürich 1968
- Weisgerber, Robert A. : "Developmental Efforts in Individualized Learning". Itasca, Illinois 1971

- Weltner, K. : "Eine vergleichende Untersuchung von Lernleistung und Erinnerungsfestigkeit bei Programmierem Unterricht und Direktunterricht". In : Deutsche Schule, 7/8 1964
- Wieczerkowski W. und Quintanilla S.A. R. : "Aufgabenanalyse, Testanalyse und Normierung." In : Klauer K.J. (Hrsg.) "Handbuch der pädagogischen Diagnostik" Bd 1, Düsseldorf 1978, S. 281 - 316
- Winde, Peter : "Zur Erweiterung der Modellmethode durch die Computersimulation". In : biologica didactica 6, Heft 4 1984, S. 27-34
- Winklbauer, Siegmund . "Unterrichtsprogramme für den Biologieunterricht". Zulassungsarbeit zur 1. Lehramtsprüfung an Grund- und Hauptschulen 78/I. München 1978
- Witte, A. : "Experimentelle Beiträge zur Entwicklung des kombinierten Unterrichts" In : Lehrmaschinen in kybernetischer und pädagogischer Sicht", Stuttgart-München 1965
- Witte, A. : "Das Modell des Alternierenden Unterrichts". In : Schöler (Hrsg.) : "Buchprogramme im Aspekt der Integration". Paderborn 1973
- Witzenbacher, Kurt : "Die Unterrichtsplanung". Ansbach 1976
- Zielinsky, J. (Hrsg.) : "Aspekte des Programmierten Unterrichts." Frankfurt 1971
- Zielinsky, J.; Schöler, W., Tulodziecki, G. : "Grundsätzliche Forderungen zum Programmierten Unterricht" In: "Aspekte des Programmierten Unterrichts" Zielinsky J. (Hrsg.) Frankfurt a.M. 1971
- Zifreund, W.: "Initiationen von Großstädten als Chance für die Integration der Unterrichtstechnologie in das Schulsystem". In : Kurzfassungen der Referate des 9. Symposiums der Gesellschaft für Programmierte Instruktion. Köln 1971
- Zimmer, A.L.: "Community College Users Report, Fall 1975" Urbana, Illinois 1976
- Zöllner, Wolfgang : "Die Erstellung informeller Tests" In : Der Biologieunterricht, Jg 7 1971, Heft 1

Gabriele Floss, geb. Rauch

LEBENS LAUF

12. 08. 1947	geboren in Kemnath-Stadt als zweite Tochter von Josef und Maria Rauch, geb. Moser
1953- 1959	Volksschule Kemnath-Stadt
1959 - 1962	Realschule Kemnath-Stadt
1962 - 1966	Musisches Gymnasium Maria Stern in Augsburg, Schulabschluß Abitur
1966 - 1971	Studium Biologie und Chemie an TU und LMU in München
1971	Frühjahr, 1. Staatsexamen
1971 - 1973	Referendarzeit in Nürnberg und Schongau
1973	2. Staatsexamen
seit 1973	Höherer Schuldienst bei der Stadt München

